

ESTUDO DA VIABILIDADE DA TÉCNICA DA RADIOSCOPIA INDUSTRIAL EM
INSPEÇÃO DE SOLDAS DE RECIPIENTES TRANSPORTÁVEIS DE GÁS
LIQUEFEITO DE PETRÓLEO

Ana Luiza Ferreira Santos

Dissertação de Mestrado apresentado ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Metalúrgica e Materiais, COPPE, da
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como
parte dos requisitos necessários para obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Metalúrgica e de Materiais

Orientadora: Gabriela Ribeiro Pereira

Rio de Janeiro

Maio de 2018

ESTUDO DA VIABILIDADE DA TÉCNICA DA RADIOSCOPIA INDUSTRIAL EM
INSPEÇÃO DE SOLDAS DE RECIPIENTES TRANSPORTÁVEIS DE GÁS
LIQUEFEITO DE PETRÓLEO

Ana Luiza Ferreira Santos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS

Examinada por:

Profa. Gabriela Ribeiro Pereira., DSc.

Profa. Adriana da Cunha Rocha., DSc.

Prof. Delson Braz., DSc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MAIO DE 2018

Santos, Ana Luiza Ferreira

Estudo da Viabilidade da Técnica de Radioscopia Industrial em Inspeção de Soldas de Recipientes Transportáveis de Gás Liquefeito de Petróleo/ Ana Luiza Ferreira Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

XI, 92 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Gabriela Ribeiro Pereira

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 90-92.

1. Radioscopia. 2. Inspeção. 3. Recipientes Transportáveis. I. Pereira, Gabriela Ribeiro. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. III. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Rubens e Graça

Às minhas irmãs Tatiana e Isabela

Obrigado, por estar sempre junto ao meu lado e por me darem o melhor de vocês

AGRADECIMENTOS

À Deus, meus guias protetores e toda a energia que me guarda e protege, obrigada por me sustentarem até aqui, por serem meu porto seguro, por me consolarem e por me darem forças para seguir em frente em todos os momentos.

Ao meu pai João Rubens, que desde o meu primeiro dia de vida, se dedica a cuidar, orientar e proteger...Obrigada pai por ser minha base, tudo sempre foi e sempre será por ti. A você a minha gratidão por ter me dado o melhor, por ter feito sempre o possível e o impossível por mim e pelas minhas irmãs.

À minha mãe Graça, obrigada mãe por me ensinar a ser forte, determinada e destemida, por me ajudar a moldar o meu caráter e a minha personalidade, obrigada pelo seu imenso amor, e por estar comigo sempre, por ser minha fortaleza, minha referência.

Às minhas irmãs Tatiana e Isabela obrigada por fazerem a minha jornada mais feliz, por estarem sempre comigo, por serem mais do que minhas irmãs por serem minhas amigas leais, obrigada pelo amor e parceria de sempre, por me ouvirem e me aconselharem, por me fazerem rir, por ensinarem a ser uma pessoa melhor todos os dias.

À Eloi Carlos do Amaral, meu gestor durante o nascimento deste projeto, por me disponibilizar para assistir as aulas no programa e com isto me permitiu continuar a minha formação acadêmica. Obrigada por ter me dado a chance de desenvolver e criar, por me ajudar a crescer, por ter contribuído pelo meu desenvolvimento profissional e pessoal por ter sido quem acreditou em mim desde o primeiro momento, por continuar sendo um incentivador de ideias, que nossa parceria e amizade durem nessas e em todas as outras oportunidades

Aos meus amigos Lucemilton Amaral e Micael Ribeiro obrigada por terem se dedicado a criar, por terem ficado horas buscando comigo o melhor ajuste e a melhor imagem por terem sido leais e parceiros durante essa caminhada, "mano Luce" nossa parceria será para sempre

À Qualival Indústria Comércio e Manutenção Industrial LTDA instituição a qual fiz parte e na qual pude desenvolver e conduzir este projeto.

A minha orientadora Gabriela Ribeiro Pereira, por ter me dado a oportunidade, por ter me apoiado nos momentos mais difíceis durante esse período, por ter acreditado que esse trabalho era possível

E por último, mas não o último ao meu parceiro da vida Ramiro José da Silva Neto que o encontro de vidas proporcionado por este trabalho não seja abreviado que o ciclo que se encerra com a conclusão desse projeto não seja o final, mas o recomeço da nossa amizade e parceria, mais amadurecidos pelo tempo, com novos aprendizados e desafios. Que a cumplicidade e lealdade marcas da nossa convivência sejam mais fortes e perdurem a todas as atribulações. A ti meu sincero afeto e gratidão

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTUDO DA VIABILIDADE DA TÉCNICA DA RADIOSCOPIA INDUSTRIAL EM
INSPEÇÃO DE SOLDAS DE RECIPIENTES TRANSPORTÁVEIS DE GÁS
LIQUEFEITO DE PETRÓLEO

Ana Luiza Ferreira Santos

Maio / 2018

Orientadora: Gabriela Ribeiro Pereira.

Programa: Engenharia Metalúrgica e Materiais

No processo de fabricação de recipientes transportáveis de gás liquefeito de petróleo, de acordo com os requisitos normativos, é recomendado inspeção das soldas estruturais. A inspeção utilizando a radiografia convencional é, operacionalmente, um fator limitante devido ao tempo de envolvimento nas etapas de processamento e o modo de arquivamento dos registros. Neste trabalho o objetivo será comparar as imagens obtidas através das duas técnicas utilizando um recipiente do tipo P13 como objeto de estudo. O equipamento utilizado é capaz de operar nos dois modos permitindo a realização de ambos ensaios. O critério adotado nas inspeções para avaliar a equivalência das imagens geradas é o número do fio visível no IQI (resolução espacial). Foi possível evidenciar a similaridade das imagens obtidas através do filme radiográfico e da imagem radioscóptica, com ganho de velocidade na inspeção e nitidez. Ao introduzir uma etapa posterior de processamento de imagens foi verificado uma melhora na qualidade da imagem. Pode concluir-se que, a técnica é viável, pois atende aos requisitos exigidos por norma, obtendo performance maior em alguns aspectos dependendo das condições de inspeção e acesso a área de interesse.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STUDY OF THE FEASIBILITY OF THE INDUSTRIAL RADIOSCOPY
TECHNIQUE IN WELD INSPECTION OF TRANSPORTABLE LIQUID
PETROLEUM GAS CYLINDERS

Ana Luiza Ferreira Santos

May / 2018

Advisor: Gabriela Ribeiro Pereira

Department: Metallurgical and Materials Engineering

In the process of manufacturing transportable liquefied petroleum gas containers, according to the normative requirements, it is recommended to inspect the structural welds. Inspection using conventional radiography is, operationally, a limiting factor due to the time involved in the processing steps and the way records are stored. In this work the objective will be to compare the images obtained through the two techniques using a container of type P13 as object of study. The equipment used can operate in both modes allowing both tests to be performed. The criterion adopted in the inspections to evaluate the equivalence of the generated images is the number of the wire visible in the IQI (spatial resolution). It was possible to evidence the similarity of the images obtained through the radiographic film and the radiosopic image, with gain of speed in the inspection and sharpness. By introducing a later step of image processing an improvement in image quality was verified. It can be concluded that the technique is feasible, as it meets the requirements required by standard, obtaining greater performance in some aspects depending on the conditions of inspection and access to the area of interest.

SUMÁRIO

Capítulo 1	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Justificativa	2
1.3. Objetivo	4
1.4. Etapas do trabalho	5
Capítulo 2	7
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Radiações ionizantes	7
2.1.1. Raio X	7
2.1.2. Interação do raios X com a matéria.....	8
2.1.3. Importância de relativa dos efeitos.....	11
2.2. Radiografia convencional	11
2.2.1 Conceito Geral.....	12
2.2.2. Equipamento gerador de raios x.....	13
2.2.3 Filmes Radiográficos.....	14
2.2.4 Qualidade da Imagem Radiográfica.....	16
2.2.5. Processamento de Imagens.....	17
2.3. A INDÚSTRIA DO GLP: Visão Geral	18
2.3.1 Histórico	19
2.3.2. Recipientes transportáveis de gás LP	19
2.3.3. Processo de fabricação dos recipientes transportáveis de gás LP	21
2.4 Proteção Radiológica	24
2.4.1. Princípios de Proteção Radiológica.....	26
2.4.2. Limites de Dose.....	32
2.4.3. Cuidados de Radioproteção.....	36
2.4.4. Plano de Radioproteção.....	37
2.5. Radioscopia Industrial	38
2.5.1. Breve Histórico	38
2.5.2. Definição	41

2.5.3. Imagem Digital.....	44
2.5.4. Processamento de Imagens.....	46
2.6 .Trabalhos Anteriores.....	48
Capítulo 3	50
MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
3.1 Material.....	50
3.2. Defeitos Possíveis.....	52
3.3. Cabine Radioscópica.....	54
3.3.1. Cabine.....	56
3.3.2 Manipulador (Sistema de Movimentação)	57
3.3.3. Painel de Controle	58
3.3.4. Requisitos de segurança	58
3.3.5. Sistema de Detecção.....	59
3.3.6. Software	60
3.4. Objeto de Estudo - Sobreposição.....	60
3.5. Posicionamento do recipiente no interior da cabine.....	61
3.6 Aquisição das Imagens	62
3.6.1. Radiografia Industrial.....	62
3.6.2. Radioscopia Industrial.....	64
3.6.3. Processamento de Imagens.....	67
3.7 Planejamento da operação dentro do controle de qualidade das peças a serem inspecionadas	67
3.8. Classificação das técnicas de acordo com as normas CNEN nos requisitos de proteção radiológica	69
Capítulo 4	69
RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1. Radiografia industrial	70
4.2. Radioscopia industrial	71
4.3. Processamento de Imagens	77
4.4 Operacionalização da técnica no laboratório de controle de qualidade	80
4.5 Classificação das técnicas de acordo com as normas CNEN nos requisitos de proteção radiológica	83
Capítulo 5	85

CONCLUSÃO.....	85
Capítulo 6	87
TRABALHO FUTUROS	87
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

Os recipientes transportáveis de gás liquefeito de petróleo (Gás LP ou GLP), comercialmente chamados de botijões de gás, são constituídos de aço carbono, e são classificados conforme os requisitos da norma NBR 7460.

Esses aços são considerados aços de baixo-médio teor de carbono e apresentam boa soldabilidade. O processo de fabricação desses recipientes consiste em etapas de corte, conformação e soldagem das calotas para a produção do corpo do recipiente e posterior soldagem dos componentes acessórios.

Conforme os requisitos da norma de fabricação ABNT NBR 8460 recomenda-se a inspeção por radiografia industrial da solda circumferencial, para controlar a qualidade das soldas executadas. Entretanto existe uma dificuldade por parte da indústria em adotar este procedimento nos recipientes devido a quantidade de ensaios a serem realizados e o tempo de procedimento, visto que a norma recomenda a execução no início da produção e em quantidade proporcional ao volume planejado diariamente.

A dificuldade de armazenamento dos filmes e a necessidade de armazenar esses dados por período de 15 anos, implica num volume significativo de registros a serem arquivados e conseqüentemente um elevado custo ao longo do tempo com o uso de insumos e descarte dos resíduos.

Além do aspecto operacional todo o processo de licenciamento para o uso de radiações ionizantes torna-se complexo além da necessidade do aumento da quantidade de profissionais para operar o sistema, em alguns casos por não haver a disponibilidade de equipamentos automatizados e autoprotégidos, se faz necessário, além do processo de licenciamento convencional a submissão de um projeto civil ao órgão regulador para permitir a operação da radiografia industrial convencional.

De forma a minimizar esses fatores a radioscopia industrial, pode tornar-se uma alternativa viável uma vez que permite a inspeção de forma mais eficaz e o armazenamento eletrônico das imagens, a operação é mais simples e o risco associado a atividade é menor .

Do ponto de vista da proteção radiológica a radioscopia representa um método mais eficaz uma vez que se apresenta autoblindado e executa os ensaios com menor corrente e voltagem que os utilizados na radiografia convencional. Para a indústria que possui requisitos elevados de produtividade e número de ensaios sua utilização é mais adequada.

O desenvolvimento da aplicação da Radioscopia para a inspeção de soldas já foi demonstrado por PEREIRA,2009 e obteve resultados satisfatórios na aplicação da técnica se comparada a radiografia convencional podendo-se afirmar que as técnicas são equivalentes.

KIESEL.D, 2006, realizou uma avaliação em função dos fatores que afetam a qualidade da imagem radioscópica se comparada a radiográfica.

GONSALVES, 2010 em seu trabalho de desenvolvimento de um sistema de radioscopia explicou como é o funcionamento de cada um dos componentes e o princípio de operação.

BESERRA,2012 aplicou a Radioscopia como uma ferramenta de controle de qualidade para realizar a inspeção de calçados.

Assim com alguns outros trabalhos que mostraram o histórico de aplicação da técnica e inclusive a sua utilização na indústria automobilística. O uso de radiografia digital vem crescendo nos últimos anos e a radioscopia aparece como uma técnica relevante com bons resultados e nível de qualidade das imagens geradas. A radioscopia também fornece inúmeros recursos para o tratamento das imagens o que permite ao inspetor uma varredura mais adequada e uma melhor detectabilidade pelo uso da técnica. Assim podendo ampliar o uso desde que a peça e o ambiente onde serão executados permita a utilização do equipamento.

1.2. Justificativa

O objetivo principal para estudar a viabilidade do uso da Radioscopia, é conseguir atender um requisito do processo de inspecionar os recipientes e consequentemente ter um controle de qualidade das soldas mais eficiente uma vez que o volume de ensaios que

a técnica permitirá realizar será muito maior, devido a agilidade e facilidade de execução, com isso o fabricante também poderá ter um processo mais econômico.

Dentro do projeto do recipiente existe um fator relevante a ser considerado, o fator de eficiência de solda (E), que influencia diretamente no cálculo da tensão nas paredes do recipiente e consequentemente define a espessura do aço a ser utilizado para a construção do corpo do recipiente como mostra a equação (1) abaixo:

$$\sigma_r = (2P (1,30D^2 + 0,4d^2)) / (E (D^2 - d^2)) \quad (1)$$

Onde:

σ_r é a tensão na parede do recipiente expressa em megapascal, (MPa);

P, é a pressão de serviço do recipiente em Megapascal, (MPa);

D, é o diâmetro externo em milímetros, (mm);

d, é o diâmetro interno em milímetros, (mm);

E, é o fator de eficiência da soldagem

A norma NBR 8460:2011 define os seguintes valores de eficiência de solda:

- _ Igual a 1 quando os recipientes forem constituídos apenas com solda circunferencial;
- _ Igual a 1 quando todos os recipientes forem radiografados;
- _ Igual a 0,9 quando um recipiente em cada 50 for radiografado;
- _ Igual a 0,7 quando não houver radiografia.

Embora a norma de fabricação não obrigue a realização de radiografia nos recipientes do tipo P13, por estes possuírem apenas solda circunferencial e permita utilizar um fator de eficiência de soldagem 0,7 (sem a realização de ensaios radiográficos) para os demais modelos, isso impacta nas condições de projeto, o que obriga ao fabricante utilizar uma espessura maior de aço para a fabricação do modelos de 3 partes, nos casos em que não realiza a radiografia o que onera o custo do recipiente.

Neste caso a realização da radiografia permite ao processo utilizar um aço de espessura menor, (para os recipientes de 3 partes) reduzindo assim o custo com o aço e para o recipiente de duas partes uma melhora no controle de qualidade das peças

Um outro ponto relevante a ser avaliado é que nas condições atuais, a realização dos ensaios pela radiografia convencional, gera uma quantidade infinita de registros, ao fazermos uma estimativa superficial, se tomarmos como base de cálculo uma produção diária de 1000 P13 (modelo mais comum e com apenas uma solda estrutural) e um fator de eficiência de solda igual à 0,9 que indica a inspeção de 1:50 P13 produzidos, 20 dias úteis no mês, teríamos mensalmente 400 radiografias realizadas, o que para o setor de gás LP é um volume considerável e bastante elevado, isso parametrizado apenas para o P13, no caso do recipiente P45 esse valor seria multiplicado por 3 (1200 radiografias), além do mais cabe considerar que neste processo existem outros ensaios que igualmente demandam tempo, realizar um ensaio não destrutivo no menor tempo possível gera um impacto menor na demanda de mão de obra do setor de qualidade.

No ambiente industrial a velocidade com que se faz necessário a avaliação de um componente é determinante para a continuidade de um processo ou até mesmo correção imediata de um parâmetro que seja determinante para a qualidade de um produto. No estudo de caso em questão, a velocidade na resposta se faz determinante uma vez que fala-se de um processo contínuo com etapas dependentes. No caso específico de uma linha de produção de recipientes transportáveis a quanto maior a velocidade da linha de produção maior é a necessidade de se identificar uma não conformidade num curto espaço de tempo com o objetivo de mitigar um impacto nos custos do processo no primeiro momento e posteriormente no cliente final, pois a medida que o tempo passa um maior número de produtos não conformes podem acabar sendo produzidos sem que se tenha sido detectado o problema.

1.3. Objetivo

Os recipientes transportáveis de gás LP são resultado de um processo de fabricação que envolve união de peças conformadas por solda de fusão. Nessas soldas é comum o aparecimento de descontinuidades aceitáveis do ponto de vista das normas técnicas e defeitos que inutilizam o recipiente se encontradas.

No aspecto de qualidade e otimização de processos, o uso de recursos que permitam detectar e posteriormente corrigir essas falhas eventuais está associada a uma

melhora na qualidade e conseqüentemente uma redução nos índices de retrabalho de um processo produtivo.

Avaliar a viabilidade do uso de uma técnica que a princípio permitiria obter informações a respeito da qualidade da soldagem e/ou posicionamento de defeitos afim de que possam ser solucionados é bastante atraente e num mercado cada vez mais competitivo. Oferecer ao cliente um diferencial em seus processos denota não apenas uma boa prática como também o compromisso da empresa que adota com a confiabilidade e estabilidade de seus processos.

A Radioscopia Industrial embora tenha um investimento inicial elevado pode conseguir atender os requisitos técnicos, operacionais e de qualidade devido aos benefícios e vantagens da sua utilização. A escolha do equipamento autoblindado e com requisitos de segurança torna mais confiável e segura a sua instalação num ambiente industrial.

Para cumprir o objetivo do trabalho serão comparados aspectos técnico-operacionais da radiografia convencional (uso de filmes) com a radioscopia (imagens eletrônicas em tempo real), como também apresentados ao longo do trabalho aspectos de proteção radiológica que foram determinantes para a escolha da técnica.

Conseguir mostrar que as técnicas são equivalentes abre espaço para a inclusão formal da radioscopia na norma brasileira de fabricação, e permite as indústrias utilizarem a inspeção como uma ferramenta de controle de qualidade e otimização dos seus processos produtivos.

A escolha do modelo de duas partes (P13) para a realização dos testes é devido a disponibilidade e facilidade para manuseio da peça para a realização dos ensaios, embora as condições de ensaios sejam aplicáveis para todos os modelos.

Sendo assim, este trabalho objetiva realizar as inspeções das soldas circunferenciais de recipientes do tipo P13, utilizando as duas técnicas, assim como comparar os resultados obtidos na Radiografia convencional e os fornecidos pela Radioscopia.

1.4. Etapas do trabalho

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos, o primeiro de caráter introdutório visa apresentar as considerações baseadas em trabalhos anteriores e apresentar a justificativa e objetivos a serem alcançados com este trabalho.

No Capítulo 2 está uma breve revisão bibliográfica que visa apresentar alguns conceitos básicos e principalmente descrever o cenário em que será aplicada a radioscopia, No item 2.1 e 2.2 conceitos básicos sobre radiações ionizantes e Radiografia Convencional e neste caso dedica-se no item 2.3 a descrição do processo de fabricação dos recipientes transportáveis de gás LP. No item 2.4 alguns conceitos de radioproteção são apresentados devido a necessidade de compreensão que dentro das aplicações industriais, requisitos normativos são fundamentais a aplicação regulamentada pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), o objetivo deste tópico é embasar critérios de escolha de uma técnica em benefício da outra devido a simplificação deste processo dentro da CNEN devido a característica do equipamento adquirido. No item 2.5 é descrita a técnica de radioscopia industrial com base em literatura. No item 2.6 são mostradas observações de trabalhos anteriores uma breve revisão dos trabalhos ligados ao tema

No Capítulo 3 estão descritos todos os métodos envolvidos para a realização dos ensaios e também requisitos da CNEN para o equipamento escolhido e uma descrição dos componentes que serão utilizados neste trabalho de acordo com as informações do fabricante como também os recursos de validação e comparação entre as duas técnicas.

No Capítulo 4 serão apresentados dos resultados e discussões obtidos entre os dois métodos e os efeitos da etapa de processamento de imagens aplicado no processo.

No Capítulo 5 as considerações finais e conclusões obtidas

O Capítulo 6 se refere a sugestão para trabalhos futuros

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Radiações ionizantes

Segundo TAHUATA, 2014 as radiações ionizantes são aquelas que possuem energia suficiente para ionizar um átomos ou moléculas, alguns possuem carga (prótons, elétrons, alfa e beta etc.) e outro não possuem carga alguma como o caso dos nêutrons, Radiação do tipo X e a radiação Gama.

Como nosso objeto de estudo são equipamentos que utilizam raios-x nos tópicos abaixo serão detalhados os meios de geração dessa energia e sua interação com a matéria.

2.1.1. Raios X

De acordo com a literatura podemos definir raios-X como a radiação eletromagnética de alta energia que tem origem na eletrosfera ou no freamento de partículas carregadas no campo eletromagnético do núcleo atômico ou dos elétrons (TAUHATA, 2014).

Os raios X embora possam ser gerados quando ocorre a captura eletrônica ou outro processo que retire elétrons da eletrosfera do átomo são produzidos a partir de colisões

Quando elétrons, acelerados por um campo elétrico intenso, colidem com um alvo metálico, eles reduzem sua energia cinética, mudam de direção e, alguns deles, emitem a diferença de energia sob a forma de ondas eletromagnéticas, os raios X. Os elétrons sofrem espalhamento e redução da velocidade devido à atração da carga do núcleo e à repulsão dos elétrons dos átomos do material alvo.

A emissão de raios X só ocorre, obviamente, quando estiver ligada a alta tensão. Quanto maior a tensão aplicada ao tubo, maior será a energia máxima dos raios X gerados e maior também o seu poder de penetração. Aumentando-se a corrente, aumenta-se a intensidade do feixe. Dessa forma num equipamento de geração de raios-x de acordo com valores de tensão e corrente estabelecidos pelo usuário são gerados radiações de intensidades distintas.

A Figura 01 mostra o esquema básico de uma máquina de raios X.

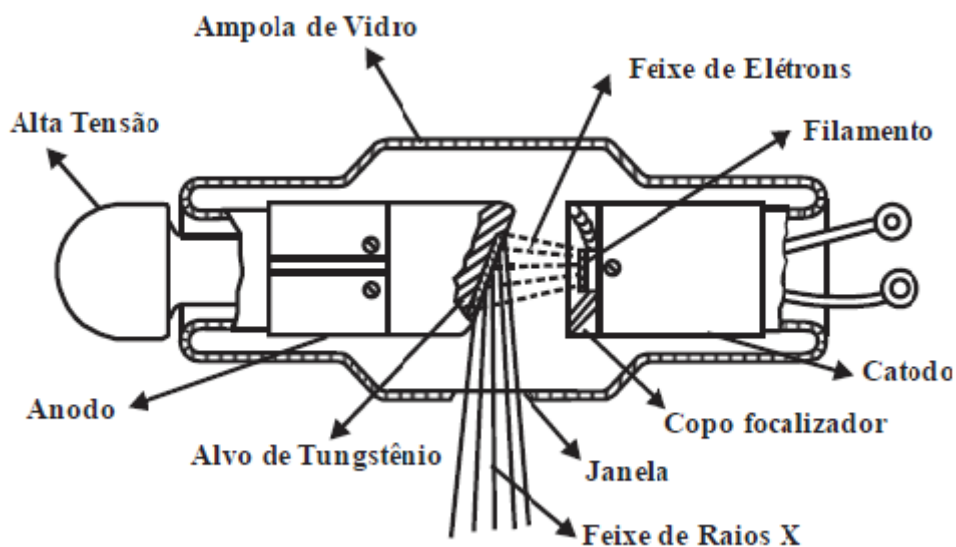


Figura 01 - Esquema de uma máquina geradora de raios X. Adaptado de (TAUHATA, 2014)

Os tubos de raios X, embora funcionem com o mesmo princípio físico, sofrem variações no formato, tipo de alvo do anodo, faixa da tensão (kV) e corrente aplicadas e sistema de refrigeração. As máquinas utilizadas para radiologia oral apresentam a tensão na faixa de 60 a 80 kV; para mamografia entre 30 e 40 kV; para radiodiagnóstico, de 100 kV a 150 kV e as utilizadas em radiografia industrial, de 150 a 500 kV. Os alvos são constituídos por tungstênio ou molibdênio.

2.1.2 Interação do raios X com a matéria

Devido ao caráter ondulatório, ausência de cargas e massa, essas radiações podem penetrar em um material, percorrendo várias espessuras até sofrerem a primeira interação. Essa capacidade está muito mais relacionada com o valor de sua energia e a interação ligada a características do material e a área de choque onde essas radiações irão incidir. Os principais modos de interação, excluindo as reações nucleares são o efeito fotoelétrico, compton e produção de pares

2.1.2.1 Efeito Fotoelétrico

O efeito fotoelétrico é caracterizado pela transferência total da energia da radiação X ou gama (que desaparece) a um único elétron orbital, que é expelido com uma energia cinética E_c bem definida (Equação 1)

$$E_c = h \cdot \nu - B_e \quad (1)$$

onde h é a constante de Planck, ν é a frequência da radiação e B_e é a energia de ligação do elétron orbital.

Como E_c difere da energia do fóton de um valor constante B_e , com a sua transferência para o material de um detector, pode ser utilizada como mecanismo de identificação do fóton e de sua energia conforme mostra a figura 02 abaixo

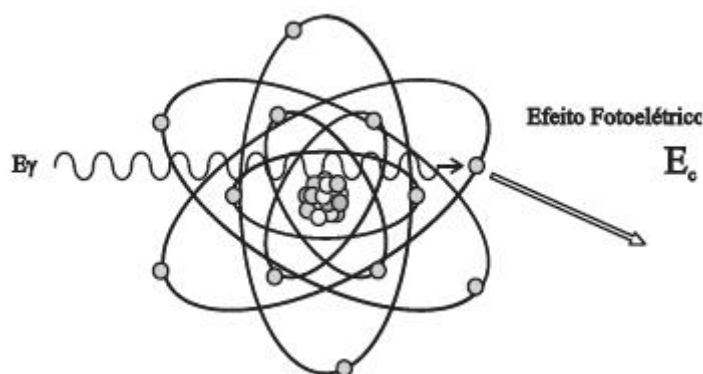


Figura 02 - Efeito Fotoelétrico. Adaptado de (TAUHATA, 2014)

Esse processo é predominante para emissões de baixa energia e para elementos químicos de número atômico Z elevado. A probabilidade de ocorrência aumenta com Z^4 e decresce rapidamente com o aumento da energia. Para o chumbo, o efeito fotoelétrico é predominante para energias menores que 0,6 MeV e para o alumínio para energias menores que 0,06 MeV

2.1.2.2. Efeito Compton

No efeito Compton, o fóton é espalhado por um elétron de baixa energia de ligação, que recebe somente parte de sua energia, continuando sua sobrevivência dentro do material em outra direção e com menor energia. Como a transferência de energia

depende da direção do elétron emergente e esta é aleatória, de um fóton de energia fixa podem resultar elétrons com energia variável, com valores de zero até um valor máximo.

Quando a energia de ligação dos elétrons orbitais se torna desprezível face à energia do fóton incidente, a probabilidade de ocorrência de espalhamento Compton aumenta consideravelmente

A figura 03 mostra a representação do efeito

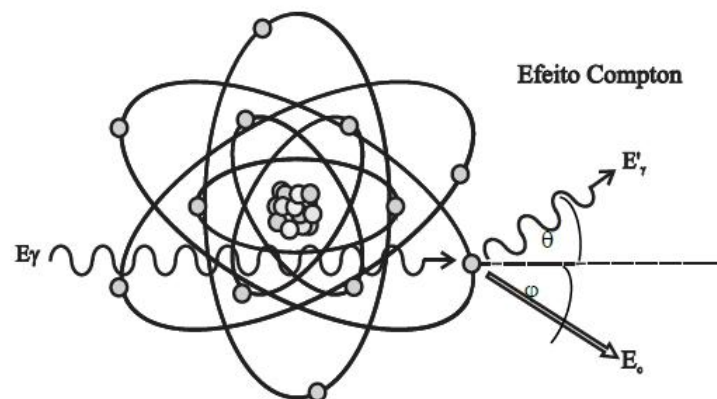


Figura 03 - Representação do Efeito Compton. Adaptado de (TAUHATA, 2014)

2.1.2.3. Formação de pares

Uma das formas predominantes de absorção da radiação eletromagnética de alta energia é a produção de par elétron-pósitron (Figura 04). Este efeito ocorre quando fótons de energia superior a 1,022 MeV passam perto de núcleos de número atômico elevado

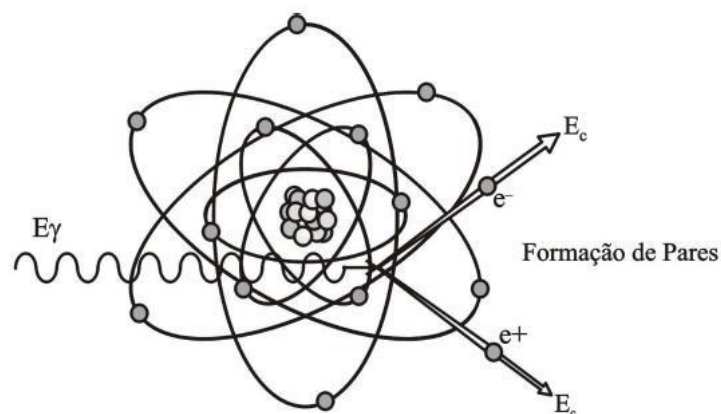


Figura 04 - Representação da Formação de Pares. Adaptado de (TAUHATA, 2014)

2.1.3. Importância de relativa dos efeitos

Compreender os efeitos permite ao pesquisador entender como a radiação pode interagir com os diferentes materiais e principalmente entender que existe uma relação entre energia do fóton, MeV e número atômico Z. A figura 05 mostra essa relação.

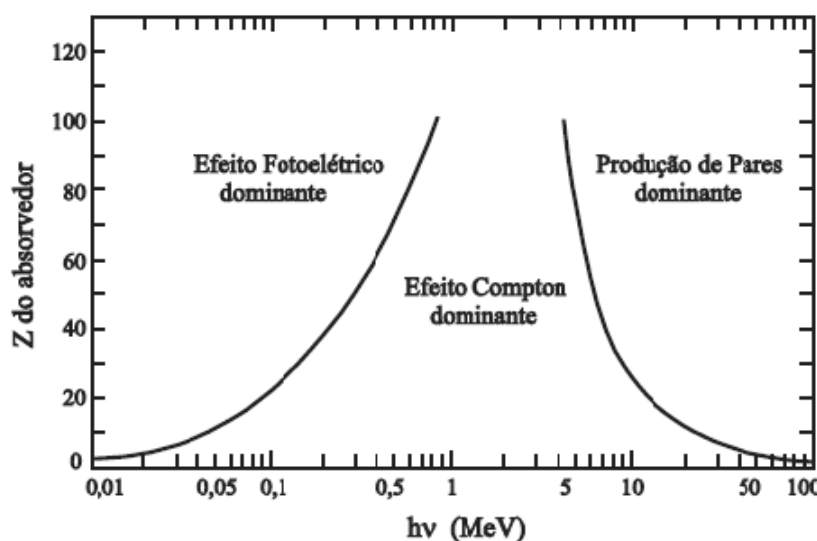


Figura 05 - Importância dos diversos processos de interação com a matéria do fóton e do número atômico do material, Adaptado de (TAUHATA,2014)

Da imagem é possível afirmar que o efeito fotoelétrico é predominante para todos os materiais em energias baixas, a medida que a energia aumenta o efeito fotoelétrico diminui e o efeito Compton vai se tornando o efeito dominante embora decresça e a medida que a energia aumenta a produção de pares vai se tornando o efeito predominante.

Esse conceito ajuda a prever o comportamento que a radiação irá provocar ao incidir no material de interesse. Como também ajudar a compreender o que ocorre no momento em que a radiação penetra no material.

2.2. Radiografia convencional

2.2.1 Conceito Geral

Pode-se afirmar que a radiografia é um ensaio não destrutivo cujo princípio básico consiste na diferença de absorção da radiação em um determinada peça ou material que está sendo inspecionado. Isso é devido a diferença na densidade e variação na espessura do material. Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, ou através de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores eletrônicos de radiação.

A presença de uma falha ou descontinuidade na peça irá provocar uma variação nessa quantidade de radiação absorvida e é essa variação que irá nos indicar a presença de descontinuidade.

A radiografia industrial é um método capaz de detectar com boa sensibilidade defeitos volumétricos como poros por exemplo, demais geometrias estão relacionados a técnica de exposição utilizada conforme mencionado por ANDREUCCI 2014 defeitos volumétricos como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas as direções, serão facilmente detectadas desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.

A figura 06 mostra a representação da técnica da radiografia

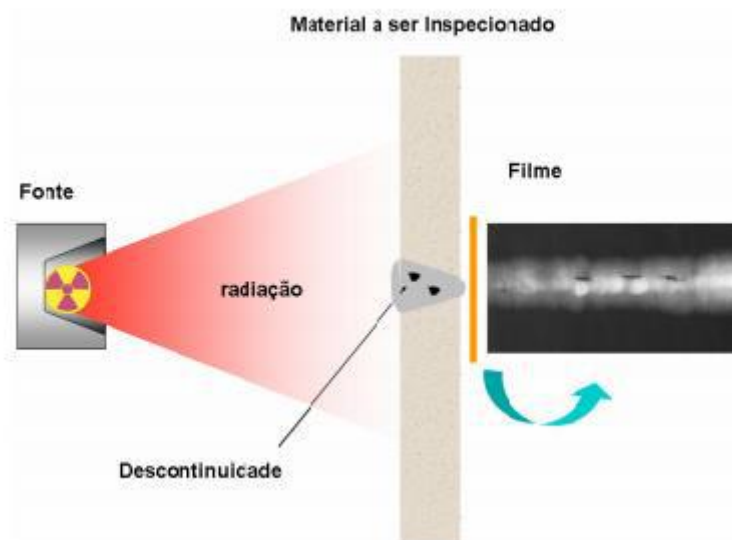


Figura 06 - Representação técnica da radiografia de uma peça. Adaptado de (ANDREUCCI, 2014)

Para realizar a radiografia é necessário um equipamento gerador de raios-x, um detector ou gerador de imagens e um sistema de revelação. Esses itens serão descritos nos tópicos a seguir.

2.2.2. Equipamento gerador de raios x

Os Raios X são produzidos em ampolas especiais como mostrado na figura 01.

Os tamanhos das ampolas ou tubos são em função da tensão máxima de operação do aparelho. Os equipamentos de Raios X industriais se dividem geralmente em dois componentes: o painel de controle e o cabeçote, ou unidade geradora.

O painel de controle consiste em uma caixa onde estão alojados todos os controles, indicadores, chaves e medidores, além de conter todo o equipamento do circuito gerador de alta voltagem. E através do painel de controle que se fazem os ajustes de voltagem e amperagem, além de comando de acionamento do aparelho. A tensão se refere à diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo e é expressa em quilovolts (kV). A corrente elétrica do tubo e é expressa em miliamperes (mA)

No cabeçote está alojada a ampola e os dispositivos de refrigeração. A conexão entre o painel de controle e o cabeçote se faz através de cabos especiais de alta tensão. A figura 07 ilustra os componentes básicos do equipamento.



Figura 07 - Exemplo do sistema de geração de radiografia industrial. Adaptado de (ANDREUCCI,2014)

2.2.3 Filmes Radiográficos

Os filmes radiográficos são constituídos por uma emulsão e uma base. A emulsão é aplicada em ambos os lados da base é um derivado de celulose. Nesta emulsão estão dispersos um grande número de minúsculos cristais de brometo de prata

Os cristais de brometo de prata, presentes na emulsão, possuem a propriedade de, quando atingidos pela radiação ou luz, tornarem-se susceptíveis de reagir com produto químico denominado revelador. O revelador atua sobre esses cristais provocando uma reação de redução que resulta em prata metálica negra. As regiões do filme, atingidos por uma quantidade maior de radiação apresentarão, após a ação do revelador, um número maior de grãos negros que regiões atingidas por radiação de menor intensidade, dessa forma, quando vistos sob a ação de uma fonte de luz, os filmes apresentarão áreas mais escuras e mais claras que irão compor a imagem do objeto radiografado.

O mecanismo de formação da imagem nos filmes radiográficos descrita da seguinte forma: A partir da união de uma série de partículas muito pequenas de sais de prata, os quais não visíveis a olho nu. Entretanto, essas partículas se unem em massas relativamente grandes que podem ser vistas pelo olho humano ou com auxílio de pequeno aumento. Esse agrupamento das partículas de sais de prata da emulsão cria uma impressão chamada de “Granulação”. De acordo com a literatura todos os filmes apresentam o fenômeno de granulação. Alguns por possuírem grãos maiores, são os chamados os filmes mais rápidos, estes apresentam uma granulação mais acentuadas que os filmes lentos.

A granulação, além de ser característica de cada filme, também sofre uma influência da qualidade da radiação que atinge o filme. Portanto, podemos afirmar que a granulação de um filme aumenta quando aumenta a qualidade da radiação. Por essa razão os filmes com grãos mais finos são recomendados quando se empregam fontes de alta energia (Raios X da ordem de milhões de volts). Quando usados com exposição longa, esses filmes também podem ser empregados com raios gama. A granulação é também afetada pelo tempo de revelação do filme. Se aumentarmos, por exemplo, o tempo de revelação, haverá um aumento simultâneo na granulação do filme porém é possível ajustar os parâmetros de forma a compensar esses efeitos fazendo com que eles tenham uma influência muito pequena.

Uma outra característica relevante sobre o filme radiográfico é a densidade ótica que é a relação entre a intensidade de luz transmitida e a visualmente observada, na prática

é o grau de enegrecimento de um filme dado as áreas claras e escuras da imagem radiográfica. De acordo com ANDREUCCI, 2014, para equipamentos de raios X esse valor deve estar entre 1,8 até 4,0.

A velocidade do filme é uma característica própria e depende do tipo de filme utilizado, dependendo, principalmente, do tamanho dos cristais de prata presentes na emulsão. Quanto maior o tamanho dos cristais mais rápido é o filme. É claro que uma imagem formada por grãos de grandes dimensões é mais grosseira, ou seja, menos nítida, que uma imagem formada por grãos menores. Portanto, quanto mais rápido o filme, menos nítida será a imagem formada por ele.

2.2.3.1. Classificação dos filmes radiográficos

De acordo com as normas ASTM E-1815-96 , que identifica os tipos de filmes pela velocidade de exposição e sensibilidade. A velocidade de exposição é função logarítmica da dose de radiação necessária para que o filme atinja densidade óptica de 2,0.

Existem de acordo com essa norma 4 tipos de filmes abaixo mencionados:

- a) Tipo I : granulação ultra fina alto contraste e qualidade. Deve ser usado em ensaios de metais leves ou pesados, ou seções espessas, com radiação de alta energia. Exemplos comerciais: *Kodak M* , *Fuji 50* , *Agfa D4 ou D5*;
- b) Tipo II: Filme com granulação muito fina e com alta velocidade e alto contraste quando utilizado em conjunto com telas intensificadoras de chumbo. Exemplo comercial: *Kodak AA400* , *Fuji 100* , *Agfa D7*;
- c) Tipo III : Filme de granulação fina, com alto contraste e velocidade. É o filme mais utilizado na indústria em razão do atendimento em qualidade e maior produtividade;
- d) Tipo IV: Filme de granulação média, pouco utilizado na indústria.

2.2.3.2. Curva característica dos filmes radiográficos

As curvas são em geral fornecidas pelo fabricante do filme e são obtidas mediante a exposições sucessivas do filme, tendo suas densidades medidas em cada exposição. Essas curvas relacionam a exposição de um determinado filme com a densidade

resultante. Os valores são plotados num gráfico de densidades em função do logaritmo da exposição relativa. A figura 08 mostra um exemplo de curva característica

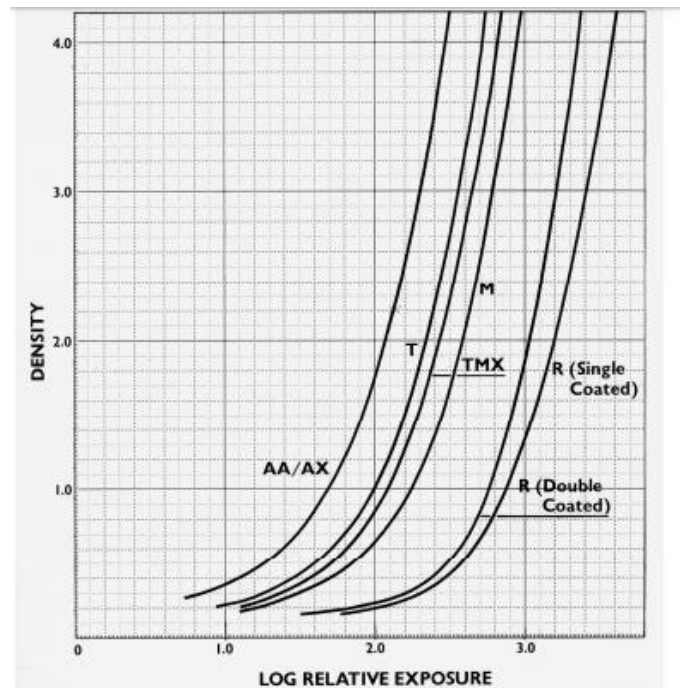


Figura 08- Curva característica dos filmes KODAK, Adaptado de (ANDREUCCI,2014)

2.2.4 Qualidade da Imagem Radiográfica

A qualidade da imagem radiográfica está associada a alguns parâmetros importantes ligados a características do filme radiográfico e da fonte de radiação utilizada, e é um fator para aceitação ou rejeição da radiografia, dentre os fatores relevantes para a análise da imagem podemos mencionar: o contraste, definição, gradiente, sensibilidade radiográfica e sensibilidade

O contraste de uma imagem é definido como a diferença de densidades entre duas regiões adjacentes ao filme. Para que se forme uma imagem no filme é necessário que ocorram variações na densidade ao longo do mesmo. Em outras palavras, uma imagem é formada a partir de áreas claras e escuras. O contraste pode também ser entendido como sendo a capacidade do filme detectar intensidades e energias diferentes de radiação.

Imagens com alto contraste permitem em geral melhor qualidade e segurança na interpretação da radiografia.

O contraste radiográfico é o resultado do contraste do objeto e do contraste do filme. O contraste do objeto é determinado pela faixa de intensidade de radiação proveniente do objeto, uma peça de espessura e composição regular produzirá uma variação de contraste menor que uma peça com grandes variações de espessura. Dessa forma como resultado de uma imagem pode se obter utilizando um filme de elevado contraste, uma imagem de contraste baixo, se o objeto tiver um contraste baixo, o inverso pode ocorrer ao se utilizar um filme de baixo contraste com um objeto de alto contraste, uma vez que o contraste da imagem radiográfica é influenciado pelos dois fatores.

A definição de uma imagem pode ser entendida como uma mudança suave de densidade de uma área a outra. Quanto mais estreita for esta faixa de transição a definição será melhor.

O gradiente de uma imagem está ligado a mudanças na curva característica do filme. O gradiente de um filme é numericamente igual à tangente em um certo ponto de sua curva. Quando regiões da curva apresenta um gradiente maior que 1,0 , o contraste é amplificado, da mesma forma, nas regiões em que o gradiente é menor que 1,0 o contraste transmitido pela peça é diminuído de acordo com o apresentado por ANDREUCCI, 2014

A sensibilidade é definida pelo menor detalhe que pode ser visualizado na radiografia. Geralmente Ela é obtida a partir do IQI de arame ou de furos. O IQI de arame é composto de arames de diversos diâmetros possíveis de ser visto na imagem radiografia industrial ou digital.

Outros fatores podem ser avaliados como o ruído da imagem que é devido a granulação do filme, pra amenizar este fator devem ser utilizados filmes de granulação fina.

2.2.5. Processamento do Filme

A preparação do filme e dos banhos para o processamento radiográfico deve seguir algumas considerações gerais, necessárias ao bom desempenho desta tarefa. O processamento pode ser manual ou automatizado, com as etapas básicas a seguir e comuns aos dois processos

a) Limpeza: no manuseio do filme, a limpeza é essencial. A câmara escura, bem como os acessórios e equipamentos, devem ser mantidos rigorosamente limpos, e usados

somente para o propósito aos quais eles se destinam. Qualquer líquido de fácil volatilização deve estar acondicionado em recipientes fechados, para não contaminar o ambiente. O termômetro e outros acessórios que manuseados devem ser lavados em água limpa imediatamente após o uso, para evitar a contaminação das soluções. Os tanques devem estar limpos e preenchidos com soluções frescas

b) Preparação dos banhos: a preparação dos banhos devem seguir a recomendação dos fabricantes, e preparados dentro dos tanques que devem ser de aço inoxidável ou da matéria sintética, sendo preferível o primeiro material. É importante providenciar agitação dos banhos, utilizando pás de borracha dura ou aço inoxidável ou ainda de material que não absorva e nem reaja com as soluções do processamento. As pás devem ser separadas, uma para cada banho, para evitar a contaminação das soluções.

c) Manuseio: após a exposição do filme, o mesmo ainda se encontra dentro do porta filmes plástico, e portanto deverá ser retirado na câmara escura, somente com a luz de segurança acionada.

d) Controle da temperatura e do tempo: os banhos de processamento e a revelação devem ser controlados, quanto a temperatura. Normalmente devem estar de acordo com a recomendação do fabricante.

2.3. A INDÚSTRIA DO GLP: Visão Geral

É provável que poucos brasileiros tenham a real dimensão da importância social e econômica do Gás Liquefeito de Petróleo para o país. Hoje, o Gás LP, mais conhecido como “gás de cozinha”, tem maior penetração em território nacional do que a energia elétrica, a água encanada e a coleta de esgoto. São mais de 42 milhões de residências – ou 95% do total de domicílios do Brasil – e mais de 150 mil empresas regularmente atendidas por uma ampla e eficiente rede de distribuição do Gás LP, que está presente em 100% dos municípios brasileiros. Trata-se de um setor vital para a sociedade e que, portanto, deve estar ao alcance, sempre, de toda a população.

A indústria do Gás LP é essencial também para a economia do país. São 21 empresas distribuidoras, mais de 70 mil revendedores, 100 mil pontos de venda, cerca de 6 milhões de toneladas comercializadas por ano, e um faturamento líquido anual de aproximadamente R\$ 7 bilhões que gera para o poder público cerca de R\$ 3 bilhões em impostos.

Esses números transformam o Brasil no quinto maior mercado mundial deste energético. O setor utiliza produtos e serviços de siderúrgicas, indústrias de máquinas e equipamentos, transportadoras, empresas de instalação, empresas de engenharia e muitas outras. Tudo somado, são pelo menos 350 mil empregos diretos e indiretos gerados pelo Gás LP.

2.3.1 Histórico

A utilização do Gás LP no Brasil começou em 1937, quando o imigrante austríaco Ernesto Igel comprou 6 mil cilindros de gás propano, que serviam de combustível para dirigíveis, e começou a comercializar o produto para cocção por intermédio da Empresa Brasileira de Gás a Domicílio. Na época, a maioria da população utilizava fogões à lenha. Em 1938, o uso do Gás LP começa a se difundir e cria-se o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), que estabeleceu como de utilidade pública as atividades relacionadas ao abastecimento nacional de petróleo e seus derivados. Com o início da produção de Gás LP pela Petrobras em 1955, houve grande impulso às atividades de distribuição do produto. De 1954 a 1990, a política de preços do Gás LP e de outros energéticos considerados prioritários, fosse por questões inflacionárias ou por motivações sociais, foi marcada pela intervenção governamental, pautada no tabelamento e uniformização de preços em todo o Brasil, por meio de subsídios cruzados sobre o transporte e sobre o próprio produto. Essa política mostrou-se extremamente eficiente para a universalização do Gás LP, favorecendo o consumo do produto nas zonas mais pobres e remotas do Brasil. Graças a ela, Gás LP chegou a 100% dos municípios brasileiros e a mais de 95% das famílias conforme dados divulgados pelo Sindigás em Dezembro 2016.

2.3.2. Recipientes transportáveis de gás LP.

De acordo com a descrição fornecida pelo Sindigás (Sindicato das distribuidoras de Gás LP), o gás LP pode ser comercializado dependendo das necessidades do cliente de forma envasado (Recipientes Transportáveis) ou a Granel (Tanques, reservatórios de grande porte)

O botijão portátil, de 2kg, é indicado para fogareiros de acampamento e lampiões. Ele não é adaptável a reguladores de pressão e não deve ser usado em fogões comuns (exceto em algumas regiões onde o botijão possui rosca grossa). Os botijões de 5kg e

13kg são os mais utilizados no país. Eles são empregados principalmente em fogões residenciais, para cozinhar alimentos.

O cilindro de 45kg é usado em centrais de abastecimento instaladas em locais pré-definidos. É utilizado em larga escala e em diferentes situações, tais como residências e estabelecimentos comerciais, bares, restaurantes, lavanderias, indústrias, e escolas.

O cilindro de 90kg é empregado por consumidores que precisam de um maior volume de gás, como nos segmentos comerciais, industriais e institucionais, porém encontra-se atualmente em desuso, sendo substituído pelas centrais de P45 ou pelos P190 (estacionários, porém fabricados pelo código da ABNT).

O Gás LP também pode ser usado como combustível para motores de veículos. No Brasil, esse uso é liberado apenas para empilhadeiras. Existe um cilindro de 20kg específico para essa finalidade. É o único recipiente de Gás LP que deve ser usado na horizontal, pois todo o seu sistema é projetado para o funcionamento nessa posição, uma vez que o consumo se dá na fase líquida e não na de vapor, como nos demais recipientes.

Os modelos citados acima podem ser visualizados na figura 09.

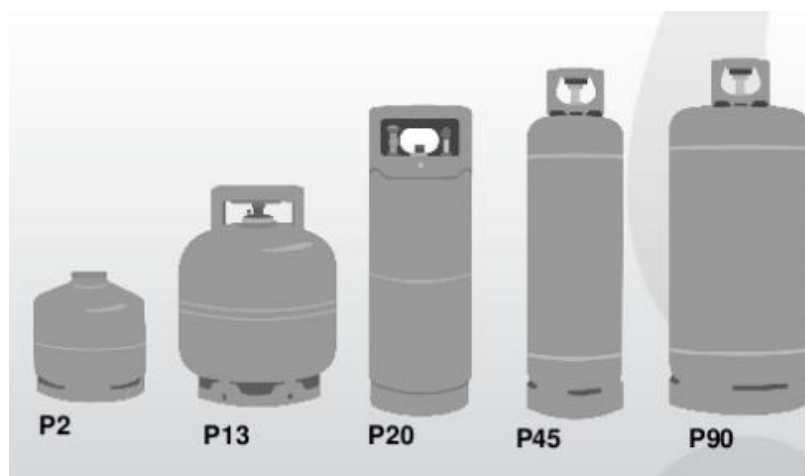


Figura 09- Modelos mais comuns de recipientes transportáveis comercializados no Brasil.

Adaptado de (Supergasbrás, 2015)

2.3.2.1. Recipiente P13

Neste tópico vamos abordar com mais detalhes o recipiente P13, devido o mesmo ser o mais utilizado e consumido atualmente.

O recipiente P13 é constituído de duas partes e componentes acessórios, a figura 10 ilustra o recipiente e suas partes integrantes e a figura 11 mostra a vista interna do recipiente.



Figura 10 - Recipiente P13 e suas partes principais. Adaptado de (Nivelando a engenharia, 2016)



Figura 11 - Recipiente P13, corte longitudinal, vista interna. Adaptado de (<http://osexecutantes2.webnode.com.br/petroleo-e-gas/tudo-sobre-gas-glp/> acessado em 12/03/2017).

2.3.3. Processo de fabricação dos recipientes transportáveis de gás LP

No Brasil, os requisitos mínimos de fabricação são definidos pela norma brasileira ABNT NBR 8460, o processo é regulamentado pelo INMETRO sob a portaria nº410. As empresa autorizadas a produzir os recipientes são anualmente auditadas e necessitam

obter os registros autorização junto ao INMETRO ativos para fabricar e comercializar essas recipientes.

A ABNT NBR 8460, descreve as características relativas aos materiais, corpo do recipiente, espessura, documentação, ensaios, procedimentos de inspeção pelo cliente e critérios de aceitação.

Os critérios desta norma são válidos para os modelos com capacidade volumétrica de 5,5 L até 500 L (recipientes do tipo P2 ao P190).

2.3.3.1. Materiais

A ABNT NBR 8460, determina que o corpo dos recipientes devem ser fabricados de aço carbono, e com requisitos de resistência mecânica e composição química de acordo com a ABNT NBR 7460. A tabela 01 mostra os materiais possíveis de serem utilizados e sua respectiva composição química.

Tabela 01 - Composição química aço carbono, Adaptado de (ABNT NBR 7460:2013)

Grau	Carbono máx	Manganês máx	Fósforo máx	Enxofre máx	Sílicio máx
GL-1	0,18	0,80	0,030	0,035	0,30
GL-2	0,22	1,20	0,030	0,035	0,30
GL-3 ^a	0,24	1,25	0,030	0,035	0,30
GL-4 ^a	0,18	1,20	0,030	0,035	0,30
GL-5 ^a	0,18	1,40	0,030	0,035	0,30

Quando requerido o teor de cobre deve ser no mínimo 0,20%

^aPara os GL-3, GL-4 e GL-5 outros elementos de liga não citados acima podem ser utilizado para a adequação das propriedades mecânicas

Os flanges devem ser de aço com soldabilidade compatível com o material do corpo. As peças acessórias devem ser constituídas de materiais que garantam o atendimento as finalidades (no caso de válvulas, plugues este material é o latão) e quando fixas por solda no corpo do recipiente devem ser aço carbono (alças e bases).

2.3.3.2 Fabricação

O corpo do recipiente é a parte mais importante do recipiente e este é construído preferencialmente pela solda de suas partes integrantes, unidas por uma solda circunferencial, essas calotas são originárias de um processo de corte e conformação. É permitido ao recipiente possuir 3 partes, (duas calotas + parte cilíndrica) como exemplo temos os modelos P20 e P45 mostrados na figura 09 A parte cilíndrica pode ser construída de chapa calandrada e fechada longitudinalmente por solda de fusão. Uma das características das calotas é que ela deve ser um semi-elipsoide de revolução, sendo que seu maior raio de curvatura não deve ser superior ao diâmetro da parte cilíndrica.

Cada fabricante desenvolve o seu layout de processo de acordo com as características e as capacidades produtivas de cada equipamento utilizado, entretanto minimamente devem conter as seguintes etapas: corte, conformação, lavagem, solda dos componentes acessórios (flange, alça e base), solda circunferencial (para recipientes de duas partes), solda circunferencial e longitudinal (recipientes de 3 partes), tratamento térmico, jateamento abrasivo, teste hidrostático, tara, aplicação de válvula, pintura e teste de estanqueidade.

A figura 12 ilustra o processo básico de fabricação de recipientes para um modelo de duas partes:

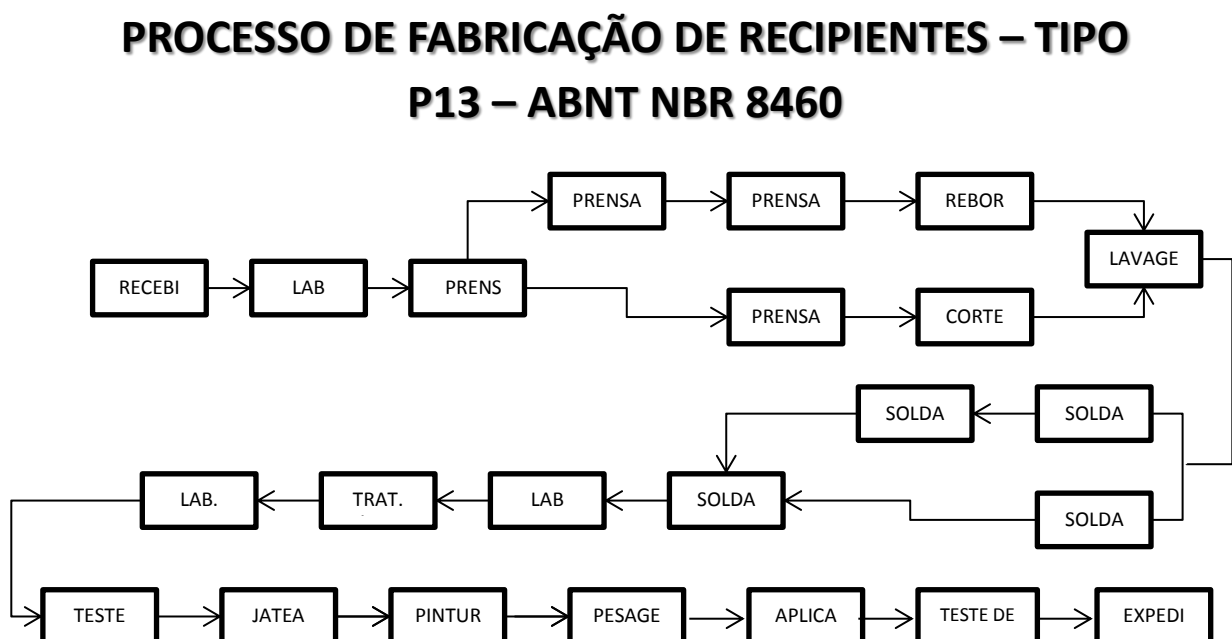


Figura 12 - Fluxograma do Processo básico de fabricação de um recipiente do tipo P13, (SANTOS.A, 2018)

2.3.3.3. Espessura

A espessura do recipiente é determinada com base no princípio de que a tensão na parede provocada pelo gás na pressão de trabalho não exceda à 60% da resistência mínima a tração do material empregado e ao valor de 250MPa.

2.3.3.4. Documentação

Todos os registros relativos ao recipiente produzido (certificados das chapas, relatórios de ensaios e registros radiográficos) devem ser armazenados por um período mínimo de 15 anos.

2.3.3.5. Ensaios

A norma determinam que sejam feitos ensaios do material e do recipiente assim classificados: Ensaios destrutivos (tração, dobramento, ruptura e expansão volumétrica), Ensaios de pressão (hidrostático, estanqueidade de uniões roscadas) e Ensaios não destrutivos (radiografia industrial). São recomendados ainda ensaios do revestimento aplicado (abrasão, impacto, névoa salina, aderência). Os ensaios são representativos do lote de fabricação, exceto os ensaios de pressão que são realizados em 100% dos recipientes fabricados.

2.3.2.6. Procedimentos de Inspeção pelo Cliente e Critérios de Aceitação.

A norma garante ao cliente inspecionar todas as etapas de produção e inspeção. E determina que caso o lote não atenda as especificações da norma, todo o lote deve ser retrabalhado quando for possível ou destruído.

2.4 Proteção Radiológica

De acordo com o explicado por TAUHATA, 2014 em seu livro sobre Radioproteção e Dosimetria, no capítulo 7 o conceito de radioproteção estaria baseado no

seguinte fundamento " A proteção radiológica pode ser definida como um conjunto de medidas que visam proteger o homem, o ecossistema de possíveis efeitos indesejáveis causados pelas radiações ionizantes"

Ainda de acordo com o autor a radioproteção para compreender essas interações analisa os diversos tipos de fontes de radiação, diferentes níveis, interações com a matéria viva ou inerte, possíveis sequelas e riscos associados e para avaliar quantitativamente e qualitativamente esses tais possíveis efeitos, necessita de definir as grandezas , suas unidades, os instrumentos de medição e detalhar os diversos procedimentos do uso das radiações ionizantes.

O estabelecimento de normas regulatórias , limites permissíveis e um plano de proteção radiológica tem por objetivo garantir seu uso correto e seguro.

Os conceitos, procedimentos e filosofia de trabalho em radioproteção são continuamente detalhados e atualizados nas publicações da *International Commission on Radiological Protection* , ICRP. Existe também a *International Commission on Radiation Units and Measurements* , ICRU, que cuida das grandezas e unidades, seu processo de aperfeiçoamento e atualização.

Os conceitos contidos nas publicações da ICRP e ICRU constituem as recomendações internacionais. Cada país pode ou não adotá-las vai depender de como o país se posiciona sobre essas recomendações.

Aqui no Brasil o órgão que regulamenta e define os requisitos e critérios para a proteção radiológica e o uso de radiações ionizantes é a CNEN *Comissão Nacional de Energia Nuclear*.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), criada em 1956 e estruturada pela Lei 4.118, de 27 de agosto de 1962, para desenvolver a política nacional de energia nuclear. Órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, a CNEN estabelece normas e regulamentos em radioproteção e é responsável por regular, licenciar e fiscalizar a produção e o uso da energia nuclear no Brasil.

A CNEN delibera sobre a legislação aplicável a utilização de radiações ionizantes no meio industrial, por meio de suas normas a CNEN determina quais requisitos mínimos devem ser atendidos desde o Licenciamento até a utilização das Radiações Ionizantes, Proteção Radiológica, Requisitos de Qualificação Pessoal dentre outros.

Vale ressaltar que a CNEN atua nas aplicações industriais e de pesquisa e demais atividades as aplicações médicas são monitoradas por portarias do Ministério da Saúde. Uma vez que de acordo com o princípio da Justificação a ser apresentado no tópico abaixo, o uso de radiações ionizantes para diagnóstico ou tratamento médico é autojustificável devido ao benefício imediato para o indivíduo

2.4.1. Princípios de Proteção Radiológica

Além dos conceitos todo o desenvolvimento da proteção radiológica estão fundamentados em três princípios básicos que devem ser atendidos quando se trata de utilização da radiação ionizante : Justificação, Otimização, Limitação de Dose

2.4.1.1 Justificação

O princípio da Justificação se baseia no critério de prevenir ou diminuir os efeitos somáticos em virtude da exposição dos indivíduos a radiação. Considera-se que doses acumuladas ao longo do tempo ainda que sejam doses intermitentes seja um fator determinante no aparecimento desses efeitos. As doses resultantes da radiação natural e dos tratamentos médicos com Raio X , não são consideradas doses acumuladas. Por esse motivo recomenda-se aos médicos e dentistas que tenham o máximo cuidado no uso dos raios X , entretanto já existem pesquisas e estudos nesse tema para avaliar os efeitos.

Assim qualquer atividade desenvolvida envolvendo radiação ou exposição deve ser justificada em relação a outras alternativas e produzir um benefício líquido positivo para a sociedade.

2.4.1.2. Otimização

O princípio básico da proteção radiológica ocupacional estabelece que todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis (ALARA : **As Low As Reasonably Achievable**).

Esse princípio estabelece que o nível de proteção deva ser tão alto ao ponto de que as doses sejam mínimas, ao ponto que quaisquer esforços posteriores produziram reduções menos significantes que as já existentes. A aplicação desse princípio preconiza que desde a escolha do equipamento, seleção e planejamento das operações e dos sistemas

a otimização da proteção radiológica em todas as situações onde possam ser controladas por medidas de proteção.

Os esforços envolvidos na proteção e o a redução da radiação podem ser considerados em termos de custos. A figura 13 faz uma representação esquemática desta análise. Uma otimização em termos quantitativos pode ser realizada como um base custo-benefício

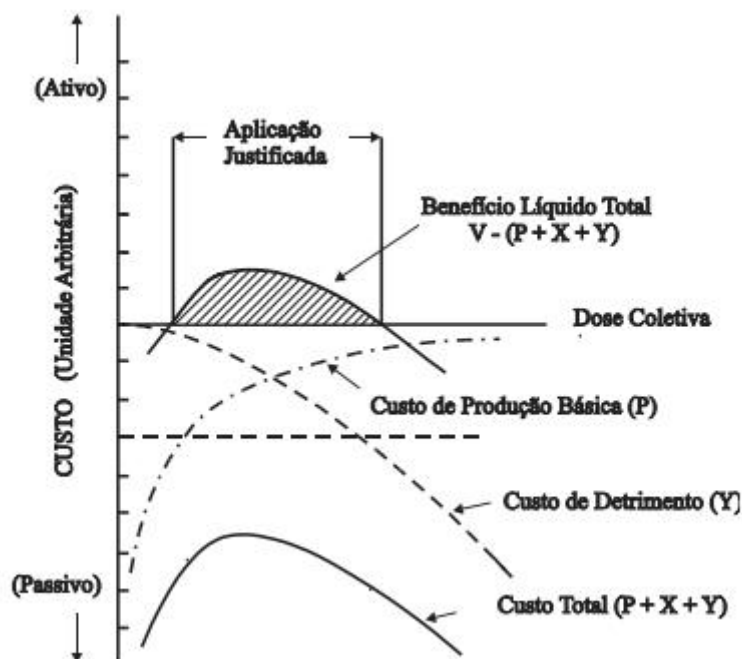


Figura 13 - Descrição esquemática do método de análise custo-benefício para otimização da proteção radiológica. Adaptado de (TAUHATA, 2014)

2.4.1.3. Limitação de dose individual

Uma das metas da proteção radiológica é a de manter os níveis de dose equivalente (equivalente de dose) anual, $H_{T,lim}$, para os tecidos abaixo do limiar do detrimento, $H_{T,L}$ para os efeitos não estocásticos neste tecido ou seja,

$$H_{T,lim} < H_{T,L}$$

Para melhor compreender o que estabelece esse princípio é necessário recorrer as definições de dose:

As publicações da ICRP nº 26, de 1977 e nº60, de 1990 foram duas importantes referencias nas definições de grandezas radiológicas, suas relações e métodos de medição.

Porém vamos nos ater a ICRP-26 que serve de base para a norma CNEN NE 3.01 - Diretrizes Básicas de Radioproteção de 1988 e a ICRP-60 para a CNEN NN 3.01 de 2011 como ainda existem textos contendo ambas definições é importante mencionar as duas publicações, vale ressaltar entretanto que existe uma divergência entre as nomenclaturas e definições devido a um erro na tradução de "*Dose Equivalent*" em Dose equivalente H quando na realidade o termo se refere a um equivalente de dose, pois o conceito definido de equivalência de doses de diferentes radiações para produzir um mesmo efeito biológico. Ou seja simplificando o conceito de equivalente de dose ou (dose equivalente) significa a quantidade de dose necessária proveniente de uma determinada fonte radiativa para produzir o mesmo efeito. Essa divergência gera uma distinção e uma necessidade posterior

Assim de maneira a simplificar as grandezas e relacionar, entendendo que o objetivo desta abordagem é compreender porque a limitação de dose é importante devendo compreender minimamente o que significa, logo a figura xx representa o procedimento de definição das suas grandezas radiológicas e sua conexão com o risco de detrimento associado nas concepções da ICRP 26 e ICRP 60

A figura 14 se representa o procedimento de definição das grandezas radiológicas e sua conexão com o risco de detrimento associado, nas concepções da ICRP 26 e ICRP 60. Nesta figura, são enquadradas também as grandezas radiológicas definidas nas normas NE-3.01 de 1988 e NN.3.01 de 2011 da CNEN.

Onde:

Q = fator de qualidade da radiação (ICRP 26).

w_R = fator de peso da radiação (ICRP 60).

w_T = fator de peso do tecido ou órgão.

F = coeficiente de risco de detrimento ou fatalidade.

n = número de casos.

Sv = sievert.

Gy = gray

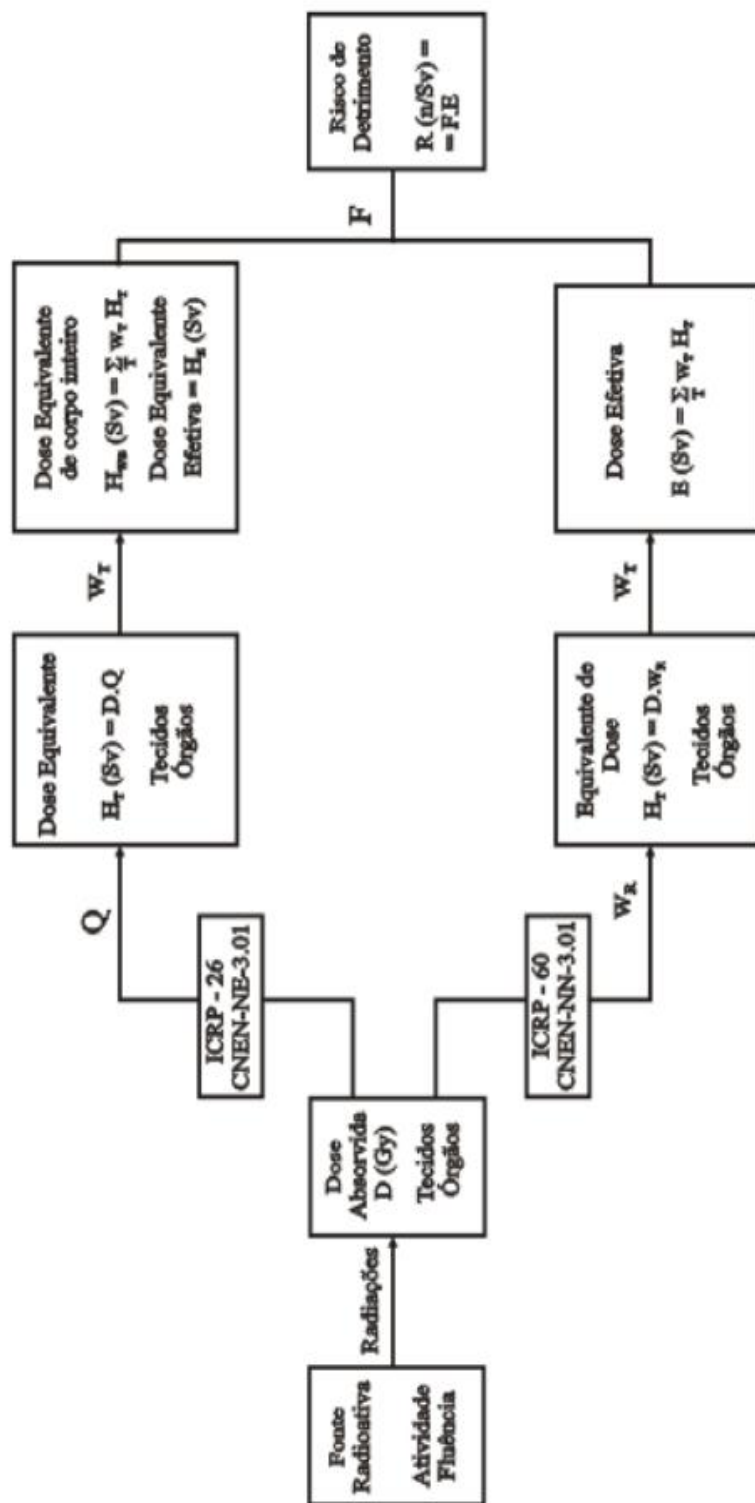


Figura 14 - Grandezas de proteção radiológica e correlação com ICRP 26 E ICRP 60.
Adaptado de (TAUHATA, 2014)

Dessa forma vamos aos conceitos mais importantes para este tópico:

a) Dose Absorvida , D

É definida formalmente como a relação entre a energia absorvida e a massa de material atingido, entretanto para especificar melhor as variações espaciais e evitar a variação da quantidade de energia absorvida em diferentes pontos do volume do material, a Dose absorvida é definida como uma função num ponto P, de interesse, ou seja, (Equação 2)

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (J.kg^{-1} = Gray) \quad (2)$$

Onde $d\varepsilon$ é a energia média depositada pela radiação no ponto P de interesse, num meio de massa dm .

b) Dose Equivalente no tecido , H_T :

O equivalente de dose no órgão ou no tecido é o equivalente de dose médio em um tecido específico, ou seja é uma forma de avaliar a extensão da dose de maneira única avaliando seus efeitos de acordo com a área do corpo atingida ou exposta. Sendo assim o equivalente de dose no tecido H_T expressa em siervert, Sv é o valor médio da Dose Absorvida $DT_{,R}$ obtida sobre o órgão ou tecido T, devido a radiação R, multiplicada pelo seu fator de peso da radiação w_R

$$H_T = w_R DT_{,R} \quad (J.kg^{-1} = sievert ,Sv)$$

Com base nesta definição podemos dizer que o valor de $H_{T,lim}$ é o valor máximo que o indivíduo pode estar submetido para que os níveis de dose não atinjam níveis que possam provocar efeitos nocivos ao individuo. Dessa forma *impõe-se que as doses individuais dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) e de indivíduos do público não devem exceder os limites anuais de doses estabelecidos conforme mostra a tabela 02*

Um outro fator destacado por TAUHATA, 2014 é que uma outra meta da proteção radiológica é a de limitar a probabilidade de ocorrência de efeitos estocásticos. A limitação de dose para efeitos estocásticos é baseada no princípio de que o detrimento deve ser igual, seja para irradiação uniforme de corpo inteiro, seja para irradiação não uniforme. Para que isso ocorra é preciso que (Equação 3):

$$E = H_E = \sum_T w_T H_T < H_{WB,L} \quad (3)$$

onde w_T é o fator de peso para o tecido T, H_T é a dose equivalente anual no tecido T e $H_{WB,L}$ é o limite de dose equivalente anual recomendado para irradiação uniforme do corpo inteiro H_{WB} , ou dose efetiva E. O fator de peso, w_T , para efeitos estocásticos no tecido T, é definido como sendo a razão entre o coeficiente de probabilidade de detrimento fatal para esse tecido (f_T), levando em conta a severidade do efeito e o coeficiente de risco total para o corpo, para irradiação uniforme de corpo inteiro. Os valores de f_T e w_T para vários tecidos são mostrados na tabela 03

Tabela 02 - Limites Primários anuais de Dose Efetiva - CNEN-NN-3.01 (2011) e BSS

115.

Grandeza		Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (mSv)	Indivíduo do Público (mSv)	Aprendiz ou Estudante (16 a 18 anos) (mSv)	Visitante ou Acompanhante (mSv)
Dose Efetiva ou de Corpo inteiro		20 ^{a, b}	1 ^c	6	5 ^d
Dose Equivalente	Cristalino	150	15	50	
	Extremidades (mãos e pés) Pele	500 ^e	50 ^e	150 ^e	

^a Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar temporariamente uma mudança na limitação de dose, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano, o período temporário de mudança não ultrapasse 5 anos consecutivos, e que a dose efetiva média nesse período temporário não exceda 20 mSv por ano.

^b Mulheres grávidas (IOE) não podem exceder a 1 mSv por ano.

^c Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos não exceda a 1 mSv por ano.

^d Por período (diagnóstico + tratamento).

^e Valor médio numa área de 1 cm² da parte mais irradiada

Tabela 03 - Coeficientes de Probabilidade de Detrimento Fatal e Fatores de peso para vários Tecidos. Adaptado de (CNEN NN 3.01)

Tecido Humano	Coeficiente de Probabilidade de Detrimento Fatal (10^{-4} Sv^{-1})	Fatores de Peso w_T
Bexiga	30	0,05
Medula óssea vermelha	50	0,12
Superfície óssea	5	0,01
Mama	20	0,05
Cólon	85	0,12
Fígado	15	0,05
Pulmão	85	0,12
Esôfago	30	0,05
Gônadas	10	0,20
Pele	2	0,01
Estômago	110	0,12
Tireoide	8	0,05
Restante	50	0,05
Total	500*	1,00

2.4.2. Limites de Dose

De acordo com as normas CNEN em condições de exposição de rotina, ou seja quando temos um trabalhador exposto rotineiramente a radiação, este indivíduo não deverá receber, por ano doses equivalentes superiores :

- Aos limites especificados na tabela 02, quando o valor médio da dose equivalente efetiva anual dos trabalhadores da instalação não exceder 5mSv, e quando a dose equivalente efetiva acumulada pelo trabalhador em 50 anos não exceder a 1Sv;
- aos limites autorizados

Porém na prática temos uma dificuldade em mensurar esses valores devido as grandezas primárias não poderem ser medidas diretamente dessa forma existem os ditos

limites secundários, intermediários e autorizados cujo objetivo é obter uma relação entre as grandezas medidas e correlaciona-las com os limites primários. De uma forma simples os limites secundários são para irradiações externas e internas; os limites intermediários, chamados de limites derivados ou limites operacionais; e os limites autorizados que podem ser determinados através de autoridades competentes, ou a direção de uma instituição que estabelecem esses valores para serem utilizados em determinadas exposições.

O que precisa ficar claro é o conceito de que o serviço de proteção radiológica precisa definir meios para mensurar essas doses e garantir que o indivíduo fique dentro dos padrões seguros estabelecidos pelos órgãos reguladores. Esses valores podem ser atualizados ou adaptados de acordo com as recomendações dessas instituições.

Um exemplo de como essas grandezas relacionam-se pode ser visualizada na figura 15 abaixo:

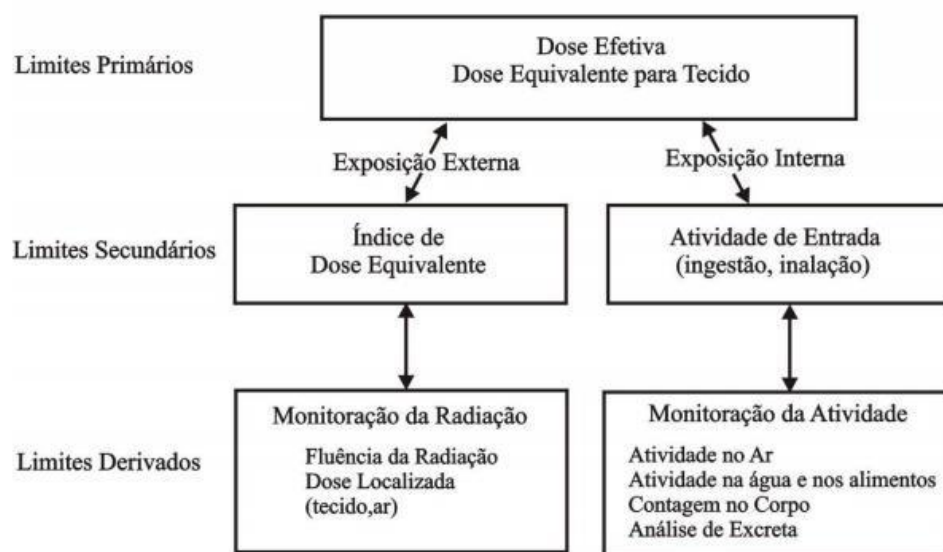


Figura 15 - Grandezas básicas e derivadas utilizadas para a limitação da exposição individual, Adaptado de (TAUHATA, 2014)

A importância de ter os limites estabelecidos é criar meios de monitorar e definir ações caso esses níveis de dose ultrapassem um determinado valor. Quando a ação a ser tomada pode variar de uma simples anotação da informação (Nível de Registro), passando por uma investigação sobre causas e consequências (Nível de Investigação), até

chegar a medidas de intervenção (Nível de intervenção) . Os níveis de intervenção devem ser previamente definidos de acordo com a atividade pois sempre irá intervir na rotina normal ou na cadeia de responsabilidades.

A norma CNEN NN 3.01 define valores para os Níveis de Registro e Intervenção conforme mostra a Tabela 04

Tabela 04 - Níveis de Registro e de Investigação para Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) estabelecidos pela Posição Regulatória 3.01/004:2011 da CNEN para Monitoração Individual.

Nível	Tipo de Exposição	Grandeza limitante	Valor/período*
Registro	Corpo Inteiro	Dose Efetiva <i>E</i>	$\geq 0,20$ mSv/mês
Investigação	Corpo Inteiro	Dose Efetiva <i>E</i>	6 mSv/ano ou 1 mSv/qualquer mês
	Pele, mãos e pés	Dose Equivalente <i>H</i>	150 mSv/ano ou 20 mSv/qualquer mês
	Cristalino	Dose Equivalente <i>H</i>	6 mSv/ano ou 1 mSv/qualquer mês

* Níveis diferentes do mensal devem ser comunicados a CNEN

2.4.2.1. Classificação de áreas

Com base nos limites de dose e riscos estabelecidos e o com fins de gerenciamento da Proteção Radiológica numa instalação, as áreas de trabalho com material radioativo ou geradores de radiação, devem ser classificadas em: Área Controlada, Área Supervisionada e Área Livre, conforme definidas na norma CNEN-NN-3.01:

a) Área Controlada:

Área sujeita a regras especiais de proteção e segurança, com a finalidade de controlar as exposições normais, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das exposições potenciais.

b) Área Supervisionada:

Área para a qual as condições de exposição ocupacional são mantidas sob supervisão, mesmo que medidas de proteção e segurança específicas não sejam normalmente necessárias.

c) Área Livre:

Área que não seja classificada como área controlada ou supervisionada.

As áreas controladas devem ter controle restrito, estar sinalizadas com o símbolo internacional das radiações ionizantes, conforme a figura 16 , os trabalhadores devem estar individualmente identificados e monitorados e, na maioria das vezes, portando equipamento de proteção individual (EPI). Uma área para ser considerada controlada, sob o ponto de vista radiológico, deve apresentar, em média, um nível de exposição maior que 3/10 do limite máximo permitido pela norma da CNEN. Em algumas instalações, as áreas controladas podem ter requisitos adicionais de proteção e segurança visando, por exemplo, a guarda de segredos industriais ou militares.



Figura 16 - Símbolo da Radiação conforme: (a) Símbolo Internacional da Radiação Ionizante segundo a norma CNEN NN 3.01 ; (b) Outra forma de representação do símbolo para indicar a presença da radiação ionizante

2.4.3. Cuidados de Radioproteção

As exposições as radiações podem ser controladas com base em três fatores: tempo, distancia e blindagem.

Por exemplo, a dose de acumulada de um individuo pode ser mensurada pelo tempo em que ela fica exposta a uma determinada taxa, uma vez que:

$$Dose = Taxa \ de \ Dose \times \ Tempo$$

Portanto se não tivermos a alternativa de reduzir a taxa de emissão de radiação podemos controlar o tempo de exposição desse individuo afim de reduzir a dose acumulada ao final de um período de exposição. Todavia quando limitar o tempo não é a única possibilidade devido a questões envolvendo, demanda de trabalho e/ou rotina de inspeções podem ser aplicados outros fatores Distância e Blindagem. Deve se atentar sempre para treinar o operador e otimizar sua habilidade de forma que ele fique o menor tempo em exposição a radiação.

A distância do operador e a fonte de radiação é uma das medidas que também são consideradas, lembrando que a o fluxo de radiação é inversamente proporcional ao quadrado dessa distância. Cabe lembrar que essa é uma afirmação verdadeira apenas para uma fonte puntiforme.

A lei que relaciona essas grandezas é dada por (Equação 4)

$$\frac{\dot{D}1}{\dot{D}2} = \frac{(r2)^2}{(r1)^2} \quad (4)$$

Onde:

$\dot{D}1$ é a taxa de dose na distância $r1$ da fonte e

$\dot{D}2$ é a taxa de dose na distância $r2$ da fonte e

Um outro fator talvez o mais inerente ao projeto , uma vez que tempo e distância estão relacionados ao operador é a blindagem. A blindagem deve levar em consideração

o tipo de radiação, as possíveis direções do feixe, tempo de ocupação da máquina ou fonte, carga de trabalho, os locais e áreas circunvizinhas, a planta da instalação. Além do cálculo da barreira primária, deve ser calcular as barreiras secundárias que leva em consideração o espalhamento da radiação.

A escolha do material de blindagem depende do tipo de radiação, atividade da fonte e da taxa de dose que é aceitável fora do material de blindagem.

Os cálculos que durante o projeto de um sistema de blindagem podem ser uma das etapas mais complexas, pois devem levar em conta os requisitos de proteção radiológica chega a ser considerado como um projeto totalmente em separado. E em alguns casos o custo acaba tornando o projeto inviável.

Dos materiais disponíveis e aplicáveis a radiação do tipo X e gama o chumbo disputa com a maior aplicação, seguido do concreto devido ao custo.

2.4.4. Plano de Radioproteção

Toda instalação que opera com material radioativo deve preparar um documento descrevendo as diretrizes de proteção radiológica que serão adotadas pela instalação. Tal documento, que recebe o nome de Plano de Proteção Radiológica, deve descrever de acordo com as normas da CNEN

- a) A identificação da Instalação e de seu Titular (Direção);
- b) A função, classificação e descrição das áreas da instalação;
- c) A descrição da equipe, das instalações e equipamentos do Serviço de Proteção Radiológica;
- d) A descrição das fontes de radiação, dos sistemas de controle e de segurança e de sua aplicação;
- e) A função e a qualificação dos IOE;
- f) A descrição dos programas e procedimentos de monitoração individual, das áreas e do meio ambiente;

- g) A descrição do sistema de gerência de rejeitos radioativos, estando a sua eliminação sujeita a limites estabelecidos em norma específica;
- h) A estimativa de taxas de dose para condições de rotina;
- i) A descrição do serviço e controle médico dos IOE, incluindo planejamento médico em caso de acidentes;
- j) O programa de treinamento dos IOE e demais trabalhadores da instalação;
- k) Os níveis de referência, limites operacionais e limites derivados, sempre que convenientes;
- l) A descrição dos tipos de acidentes admissíveis, do sistema de detecção correspondente e do acidente mais provável ou de maior porte, com detalhamento da árvore de falhas;
- m) O planejamento de interferência em situações de emergência até o restabelecimento da normalidade; e
- n) As instruções de proteção radiológica e segurança fornecidas, por escrito, aos trabalhadores.

Além disso, o Plano de Proteção Radiológica deve descrever as atribuições do titular (direção) da instalação, do supervisor de proteção radiológica e dos IOE da instalação.

O importante é destacar que a CNEN determina critérios específicos dependendo do tipo de atividade, tipo de equipamento, local da instalação, que podem ser em nível mais simples ou de maior complexidade a norma CNEN NN 3.01 estabelece todas as diretrizes para proteção radiológica e as normas CNEN NN 6.02 e CNEN NN 6.04 sobre o processo de licenciamento de instalações radiativas e Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para as instalações industriais respectivamente.

2.5. Radioscopia Industrial

2.5.1. Breve Histórico

A Radioscopia é uma técnica similar a radiografia convencional no princípio de geração das imagens mas diferindo desta técnica no modo de aquisição

No início de sua utilização essa técnica era puramente visual não deixando nenhum tipo de registro - Fluoroscopia, além de não oferecer segurança para o operador e nem respeitar os requisitos de proteção radiológica, era uma prática utilizada tanto na área médica quanto na industrial, sobretudo na indústria automobilística para a inspeção de peças de alumínio segundo relatado por PURSCHKE, 2000.

Em meados da década de 50, o uso de intensificadores de imagens para raio-x começou a ser utilizado na inspeção radioscópica.

Já nos anos 60, foi acoplado no sistema um aparelho de TV, esse sistema é muito similar ao modo de operação dos dias atuais com a diferença é que antes eram utilizadas câmeras analógicas e atualmente são utilizados câmeras CCD (*Charged Couple Device*) em inglês, um elemento capaz de transferir sinal luminoso em sinal elétrico.

Após esse período as modificações sofridas pela técnica foram no sentido de melhorar os componentes, sendo introduzido técnicas de processamento de imagens que permitiu aos usuários uma melhor qualidade da visualização e identificar defeitos com dimensões ainda menores, seguido da automatização dos processos e a utilização da técnica para inspeção de soldas e possíveis trincas.

De acordo com BERTHEL, 2007 a radioscopia desponta como uma alternativa viável nos casos em que a radiografia convencional apresenta limitações ou são necessários um número grande de inspeções ou a geração de imagens em um tempo muito curto ou ainda em linhas de produção.

PEREIRA, 2006 em sua dissertação de mestrado realizou um estudo baseado em comparar parâmetros da imagem radioscópica com a radiografia convencional, de soldas de diferentes materiais com espessuras diferentes, afim de avaliar parâmetros tais como contraste, qualidade da imagem, tempos de exposição. De forma a fornecer base teórica para a viabilidade da técnica o autor destacou o conceito de "*state of art*" (estado da arte) da radiografia seria a utilização da técnica em várias áreas e em setores importantes, entretanto em suas considerações destacou que a radioscopia possuía potencial, haja visto que a técnica possui recursos de aprimoramento e resultados qualitativos equivalentes a radiografia convencional. Um aspecto destacado por ele durante a sua revisão bibliográfica é o custo operacional da técnica, segundo ele com base num trabalho semelhante dedicado ao tema "a redução de custo devido a menores tempos de exposição, armazenamento e a eliminação da etapa de processamento químico, bem como problemas

com a eliminação de resíduos gerados pela última etapa" , de acordo com o estudo apresentado essa redução chega a 61%

Ainda nesta fundamentação, tópicos sobre a detectabilidade da técnica foram apresentados e neste tema a radioscopia quando comparada as técnicas convencionais apresentou 94% de probabilidade de detecção enquanto a radiografia convencional foi de 79%.

Os ensaios foram realizados utilizando o arranjo convencional conforme representação clássica por ANDREUCCI, 2014 conforme ilustra a figura 17 abaixo



Figura 17 - Representação genérica das imagens num sistema radioscópico, Adaptado de (ANDREUCCI, 2014)

Como conclusão, de PEREIRA,2006, é que com os recursos do tratamento de imagem a radioscopia com fonte contínua e a radioscopia convencional a nível de contraste são iguais e inclusive obter a mesma qualidade de imagens (foi verificado o mesmo fio no IQI para ambas as técnicas) e atingido o requisito de qualidade para as imagens de acordo com a norma EN1435 2000 podendo substituir a radioscopia nos casos em que for aplicável. No que diz respeito aos tempos de exposição a técnica de radioscopia oferece o menor tempo se comparado a radiografia convencional.

KIESEL, 2006 realizou um trabalho de comparação entre as técnicas de radiografia convencional e três tipos de radioscopia (convencional, com processamento de imagens , com processamento de imagens e minifoco) o trabalho consistiu em avaliar aspectos relativos a resolução espacial, sensibilidade ao contraste, velocidade e perspectiva do ensaio, os resultados deste trabalho podem ser observados na tabela 05 abaixo:

Tabela 05 - Comparação da radiografia por filme com diferentes modalidades da radioscopia. Adaptado de (KIESEL,2006)

Parâmetro / Técnica	Radiografia	Radioscopia	Radioscopia com processamento de imagem	Radioscopia com processamento de imagem e minifoco
Resolução	0,1 a 0,06 mm	0,5 a 0,25 mm	0,5 a 0,25 mm	< 0,05
Sensibilidade do contraste	1 a 2 %	3 a 4 %	0,5 a 1 %	0,5 a 1%
Velocidade por imagem	5 a 15 minutos	Tempo Real	1 a 30 segundos por imagem	1 a 30 segundos por imagem
Perspectiva do ensaio	Fixa	Flexível	Flexível	Flexível

GONÇALVES, 2010 em sua dissertação desenvolveu um sistema de radioscopia e durante a fundamentação teórica foi realizada a descrição dos componentes do sistema e conseqüentemente a do sistema de aquisição de imagens, embora o objetivo do trabalho tenha sido avaliar as dificuldades e quantificar os parâmetros relativos a imagem para o sistema proposto não sendo um trabalho de comparação e sim de explicação sobre o mecanismo de funcionamento do sistema a contribuição para este trabalho foi sobre os conceitos relativos aos componentes que serão descritos mais adiante.

2.5.2. Definição

A Radioscopia Industrial é uma técnica de ensaios não destrutivos (END) que consiste na inspeção de objetos a partir de imagens geradas pela incidência de raios X numa superfície detectora. O sistema geralmente é composto por: Fonte geradora de radiação Ionizante, Tela intensificadora de imagens, sistema processamento dos sinais.

O princípio básico de funcionamento em resumo, consiste em colocar o objeto entre a fonte geradora de raio X e a tela intensificadora de imagens. A radiação atravessa o material e sensibiliza a superfície da tela que é constituída por elementos que convertem essa radiação em sinais luminosos, este processo ocorre em três etapas: A primeira etapa consiste na interação dos raios-x com os elétrons da camada mais externa, sendo transformados em elétrons de alta energia, segunda etapa se refere a conversão de parte dessa energia cinética desses elétrons em estado de excitação do material tendo como

última etapa a emissão de luz que ocorre quando esses elétrons voltam ao normal. O esquema abaixo (Figura 18) representa o que ocorre quando a radiação atravessa o material da tela intensificadora.

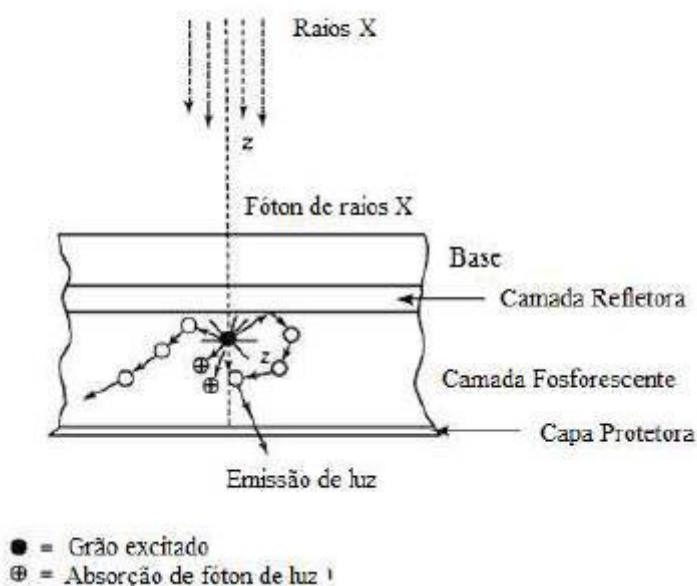


Figura 18 - Processo de conversão de raio-x em luz, Adaptado de(BOSSI, 2002)

O tamanho das partículas na superfície da tela intensificadora está para a radioscopia do mesmo jeito em que o tamanho do grão no filme radiográfico para a radiografia industrial em termos de resolução, quanto menor o tamanho do grão melhor é a resolução. Assim como também a espessura da camada de material fosforescente ou fluorescente em alguns casos está para os chassis utilizados na radiografia convencional influenciando na sensibilização da imagem.

O tipo de material da tela intensificadora também influencia nas suas características, na probabilidade de interação da radiação com o material

A etapa seguinte seria a intensificação desses sinais, este componente do sistema funciona transformando novamente fótons em elétrons, então, estes elétrons são acelerados para atingir novamente um material que converte elétrons em luz. Essa amplificação tipicamente pode ser de um fator entre 30 e 10.000 vezes para a em seguida esses sinais são processados eletronicamente sendo convertidos em sinais luminosos gerando a imagem na tela do computador conforme definido por BOSSI, 2002. É

indispensável que esse sistema ocorra no vácuo para não prejudicar a eficiência do processo. A figura 19 ilustra o mecanismo de funcionamento de uma tela intensificadora

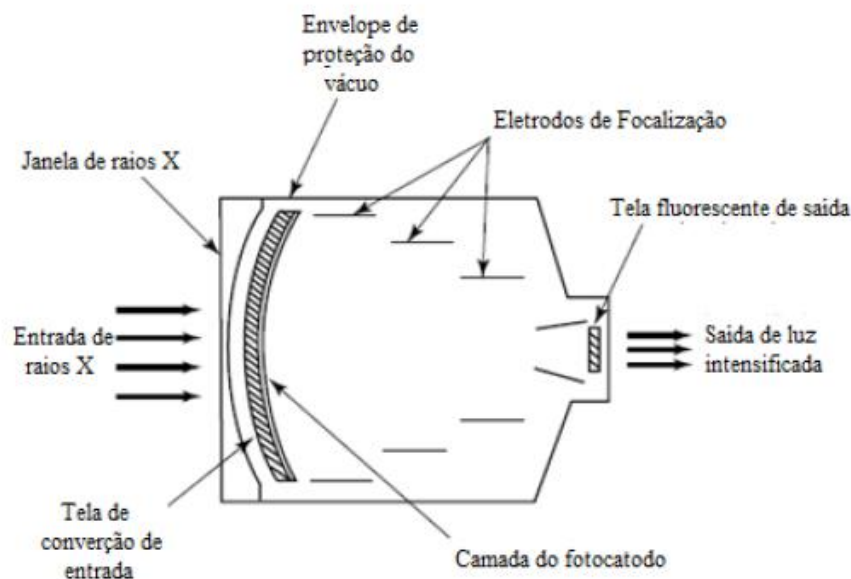


Figura 19 - Representação do mecanismo de funcionamento da tela intensificadora de imagens. Adaptado de (BOSSI, 2002)

O uso de um software acoplado ao sistema permite ao operador o auxílio na leitura e controle desses defeitos, permitindo inspeções mais rápidas e eficazes, além de permitir o armazenamento dessas imagens para diversas aplicações. Entretanto é relevante explicar como ocorre esse processo trata-se de um dispositivo chamado de "*frame globber*" que permite digitalizar o vídeo analógico. Um sistema intensificador que obtém as imagens digitalmente é análogo a um sistema digital de captura indireta, onde a imagem é transformada em luz, e esta, é capturada por um elemento CCD.

O equipamento de radioscopia geralmente permite operação em modo manual ou automático o que permite ao operador uma certa autonomia durante a inspeção. Dependendo da atividade a ser desempenhada, isso faz com os ciclos de inspeção sejam mais ágeis permitindo a inspeção de várias peças simultaneamente, e com critérios de aceitação inseridos previamente no equipamento.

Considerando que o equipamento utiliza radiação ionizante, o mesmo deve operar conforme as orientações e regulamentações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que regulamenta os requisitos de segurança e operação desses equipamentos, assim como os requisitos de blindagem e características das instalações.

Geralmente os equipamentos de radioscopia são comercializados em cabines autoblindadas que não oferecem risco para o indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE), com níveis de radiação que podem ser considerados níveis de público de acordo com os critérios estabelecidos pela CNEN, podendo serem utilizados em locais abertos, um exemplo dessa aplicação é o sistema de detecção utilizado em aeroportos, que utiliza a radioscopia como método de inspeção. Todavia essas informações variam dependendo da utilização e do fabricante.

2.5.3. Imagem Digital

A imagem digital consiste em uma matriz onde cada elemento, ou pixel, é representado por um valor numérico que simboliza uma tonalidade de cor. A imagem digital é armazenada através de dígitos binários denominados bits, que podem assumir os valores 0 ou 1. Um conjunto de bits chama-se byte. Os bits e bytes são usados para representar os pixels da imagem digital. Diferentes configurações de bytes representam as diversas tonalidades dos pixels (OLIVEIRA, 2007).

Um dos principais parâmetros que afetam a qualidade da imagem digital é a resolução espacial. A resolução espacial é definida como sendo a menor separação (distância) entre dois pontos da imagem que podem ser distinguidos ou visualizados (ANDREUCCI, 2014).

O tamanho e a quantidade de pixels de uma imagem são fatores determinantes para a análise de detalhes em uma imagem digital. Desde que cada pixel tenha somente um valor numérico ou escala de cinza, não é possível ver qualquer detalhe com apenas um pixel, uma vez que todas as estruturas dentro da área coberta por este pixel serão representadas por um único valor numérico ou escala de cinza.

Consequentemente, boa resolução requer pixels pequenos que são obtidos por selecionar matrizes de grandes dimensões.

Outro fator importante é o número de bits usados para representar cada pixel. Este fator afeta, o número da escala de cinza ou níveis de nitidez: quanto maior o número de bits por pixel, maior será a escala de tons de cinza, ou níveis de brilho da imagem (OLIVEIRA, 2007).

Contraste é o grau de diferenciação entre duas estruturas adjacentes, e sua função é tornar visíveis as interfaces e estruturas do objeto inspecionado. O contraste é função

da espessura e da diferença de densidade ou composição química (número atômico) do objeto, e pode ser dividido em três tipos: contraste do objeto, do sujeito e da imagem (CORREA, 2005) (SPRAWLS, 1995).

a. Contraste do objeto - Para um objeto ser visível em uma imagem radiográfica, este objeto deve possuir contraste físico em relação ao meio no qual está inserido. Este contraste, denominado contraste do objeto, é função da diferença de densidade ou composição química (número atômico) do objeto em relação ao meio. O contraste do objeto é proporcional ao produto de sua densidade e espessura (SPRAWLS, 1995).

b. Contraste do sujeito - Após a interação da radiação com diferentes estruturas do corpo, emerge destas uma radiação cuja distribuição em energia é diferente daquela que penetrou no corpo, devido ao fato de, no trajeto haver estruturas de características diferenciadas. A essa nova distribuição de energias que compõem o feixe dá-se o nome de imagem área (SILVA, 2000). A partir disso, pode-se definir uma grandeza bastante útil quando se trata da produção de uma imagem: o contraste do sujeito. O contraste do sujeito é a diferença na exposição entre vários pontos dentro da imagem área. Este é afetado, além do contraste do objeto, pelos fatores que influem na qualidade da radiação, tais como a tensão aplicada, o material do ânodo, o ripple e a filtração (SPRAWLS, 1995).

c. Contraste da imagem - O contraste da imagem radiográfica depende basicamente das características das estruturas do objeto a ser inspecionado, como densidade e espessura, da distribuição de energia dos fótons, da intensidade de fótons que emergem do objeto, das características do filme e do processamento da imagem.

Segundo SPRAWLS, 1995 dois fatores influenciam diretamente no contraste da imagem digital é a radiação espalhada e a energia do feixe de radiação. A radiação espalhada influencia na imagem radiográfica, diminuindo o contraste, principalmente nas regiões claras do filme, mascarando os detalhes situados nestas áreas. No quesito energia de radiação quanto maior a energia, menor será a diferença entre a intensidade de fótons provenientes das várias densidades do objeto, dando origem a uma imagem de baixo contraste.

A nitidez da imagem esta associada com o grau de visualização de detalhes e é demonstrada pela clareza de linhas estruturais finas e pelas bordas de estruturas visíveis na imagem radiográfica. Uma imagem é considerada ideal quando cada ponto dentro do objeto inspecionado é representado por um pequeno e bem definido ponto na imagem.

No entanto, na prática, isto não acontece. As representações geométricas de estruturas, na imagem, sempre estão associadas a um grau de “borramento”.

A distância fonte-objeto, intensidade do feixe e tamanho do foco radiográfico são fatores que influenciam na nitidez da imagem.

O ruído são variações aleatórias de intensidade no sinal da imagem, que contribuem para redução de visualização de detalhes, especialmente de objetos pequenos e de baixo contraste. O ruído da imagem possui diversas origens. A própria maneira aleatória que os fótons de radiação são distribuídos no processo de formação da imagem é uma fonte de ruído, denominado ruído quântico.

2.5.4. Processamento de Imagens

NASCIMENTO,2016 em sua tese de doutorado definiu o processamento de imagens como uma ciência que permite modificar, analisar e manipular imagens digitais a partir de um computador e objetivo principal do tratamento é extrair mais facilmente a informação ainda que se tenha que processá-la inúmeras vezes.

O processamento de imagens digitais pode ser classificadas em duas funções: relacionado com técnicas de processamento (escopo); relacionado com os tipos de resultado de cada técnica (resultado) SCURI, 1999

Em todas as classes de processamento a qualidade é o fator comum. Entretanto a existem duas neste quesito: fidelidade e inteligibilidade. No primeiro caso, a preocupação é em aproximar a imagem processada da imagem original ou de um padrão estipulado que a melhor represente. No segundo caso a preocupação é com a informação extraída da imagem seja pelo olho humano ou seja por algum processamento

Algumas décadas atrás o processamento de imagem era feito majoritariamente de forma analógica, através de dispositivos ópticos. Apesar disso, devido ao grande aumento de velocidades dos computadores tais técnicas foram gradualmente substituídas por métodos digitais.

O processamento digital de imagem é geralmente mais versátil, confiável e preciso,além de ser mais fácil de implementar que seus duais analógicos.

De acordo com o tutorial publicado por QUEIROZ. et al, 2014, vários modelos de sistemas para processamento de imagens têm sido propostos e comercializados no mundo inteiro nas duas últimas décadas. Entre meados das décadas de 80 e 90, com a progressiva redução nos custos das tecnologias de hardware, as tendências de mercado voltaram-se para placas projetadas, segundo padrões industriais, para uso em computadores pessoais e estações de trabalho . Assim, surgiram diversas empresas que se especializaram no desenvolvimento de software dedicado ao processamento de imagens. Nos dias atuais, o extenso uso dos sistemas para processamento de imagens desta natureza ainda é muito utilizado em aplicações de sensoriamento remoto (processamento de produtos aerofotogramétricos e orbitais) e imageamento biomédico (processamento de imagens geradas a partir de MR, CT, PET/ SPEC, tomografia óptica, ultrassonografia e raios X). Todavia, tendências recentes apontam para a miniaturização e integração do hardware especializado para processamento de imagens a computadores de pequeno porte de uso geral.

NASCIMENTO, 2016 em sua revisão bibliográfica, mencionou no tópico dedicado a o processamento de imagens que atualmente existem diversos sistemas de processamento de imagens disponíveis no mercado. Eles se distinguem pela forma de distribuição (Comercial, Shareware, Freeware), pela área de aplicação (editoração eletrônica, análise científica, visualização, edição informal, pesquisa) e pelas plataformas em que estão disponíveis. Geralmente os sistemas de radiografia computadorizada fornecem programas próprios de processamento de imagem que permitem diversas operações de análise com a imagem gerada após o processamento do scanner, tais como inversão na escala de cor da imagem, realce de bordas (imagem em relevo), redução de ruído, medição de descontinuidades na imagem e, inclusive, geração de relatórios finais.

Os Filtros são utilizados em imagens / sons para permitir a alteração dos sinais originais de entrada, onde através da aplicação de técnicas de filtros, torna-se possível gerar novos valores de saída para tais sinais. Imagens são representadas essencialmente no domínio espacial, enquanto que sons são representações feitas do domínio do tempo. Tais sinais podem ser convertidos para o domínio da frequência fazendo-se uso, por exemplo, da Transformada Rápida de Fourier (FFT) e em seguida, aplicando-se filtros para o propósito específico em questão.

A realização da filtragem dos dados no domínio da frequência possibilita a alteração dos dados originais em novas informações de saída com a aplicação de filtros como o Passa Baixa ou Passa Alta, permitindo a remoção de ruídos dos sinais, a suavização dos dados, o aumento do contraste ou até o realce dos detalhes de uma imagem, como as bordas, por exemplo.

A aplicação de filtros em uma imagem digital significa a execução de algum tipo de processamento à mesma com o objetivo de se obter uma imagem resultante mais adequada a um determinado propósito do que a imagem original, com o intuito que ela atenda às necessidades de algum estudo ou análise específicos sobre a imagem. Deve-se enfatizar que saber se o resultado obtido após a filtragem é mais adequado ou não irá depender da interpretação do observador, já que as técnicas de aplicação de filtros em imagens são, de uma forma geral, direcionadas a um determinado problema a ser resolvido.

O uso de filtros na área de processamento de imagens objetiva aumentar sua qualidade, através da remoção ruídos ou imperfeições que podem ser gerados durante os diversos processos pelo qual a imagem pode passar, como a aquisição (processo pelo qual uma imagem do mundo real é transformada em uma imagem digital composta por uma matriz de pixels que determinam sua amostragem e onde cada pixel possui uma gradação tonal determinando sua quantização), a transmissão (através do envio da imagem por correio eletrônico ou através da realização de cópias), além dos processos de compressão da mesma. Outras opções possíveis na utilização de técnicas de filtragem de imagens digitais está na acentuação de determinadas características, como por exemplo, a identificação das bordas da mesma, ou até mesmo em melhorias direcionadas ao seu brilho, foco ou contraste WOJNAR, 1999

2.6 .Trabalhos Anteriores

Existem alguns trabalhos preliminares que utilizaram a Radioscopia como objeto de estudo e realizaram uma comparação com a Radiografia, todavia não foram encontrados na literatura estudos preliminares envolvendo a aplicação em recipientes de gás LP.

GONÇALVES, 2010 em sua dissertação de mestrado, fez um estudo sobre o desenvolvimento da radioscopia, apresentando histórico de utilização da técnica, como

também as etapas necessárias para o desenvolvimento de um sistema radioscópico. Neste trabalho o autor desenvolveu um equipamento mantendo suas características de radioscopia em tempo real, mas sendo uma alternativa de baixo custo para obtenção de radiografias digitais. Os resultados mostraram que este sistema pode ser construído, tendo sido avaliado por parâmetros de qualidade e tendo utilidade única em algumas situações, sendo capaz para indicação de defeitos em peças reais. A digitalização mostrou-se razoável para armazenamento de imagens, além, de um ótimo ponto para a avaliação intrínseca da qualidade do intensificador de imagens.

No trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de mestre de PEREIRA, 2009 o autor fez um trabalho avaliando a qualidade da imagem radioscópica se comparada a imagem radiográfica, como objeto de estudo foi utilizado foram corpos de prova soldados de diferente espessuras, durante a discussão o autor apresenta os resultados obtidos utilizando diferentes IQI's e conclui que a imagem radioscópica é melhor se comparada a imagem radiográfica e atende aos requisitos das normas vigentes. Este estudo mostra uma possibilidade de maior aplicação desta técnica na indústria dos ensaios não destrutivos. A obtenção de valores de qualidade radiográfica semelhantes à radiografia de filme foi uma prova inequívoca da aplicabilidade deste processo que apresenta diversas vantagens em relação ao filme tradicional. Os dados obtidos comprovaram um contraste radiográfico semelhante ao filme, para diversos materiais, e diversas espessuras. Estudou-se ainda a resolução espacial básica e a penumbra, que apresentaram melhores valores na radiografia convencional, para baixas espessuras de material, dada a limitação de resolução do detector, ou seja, o tamanho de pixel. Porém para as espessuras maiores, a penumbra já é semelhante à radiografia de filme. A qualidade radiográfica obtida para a radioscopia cumpre as normas existentes e aplicáveis nestes ensaios, tornando-a deste modo um possível substituto do filme convencional em determinadas aplicações.

KIESEL, 2006 em seu trabalho apresentado na conferencia de ensaios não destrutivos, fez uma comparação entre as técnicas de radiografia e radioscopia avaliando os parâmetros que influenciavam na qualidade da imagem tais como: resolução, sensibilidade ao contraste, velocidade, geometria da imagem. Resultados mais consistentes foram obtidos quando ele avaliou a detectabilidade das duas técnicas. A radioscopia apresentou maior probabilidade de detecção se comparada ao radiografia desde que os ajustes e as condições de aquisição de imagem sejam adequadas.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

Para a realização dos testes foi utilizado como corpo de prova, um recipiente do tipo P13 fabricado conforme os requisitos técnicos da ABNT NBR 8460.

A escolha do modelo P13, foi realizada, baseando no fato do modelo ser o mais utilizado e comercializado (modelo residencial), e por possuir apenas uma única solda circunferencial.

Os demais modelos (P20 e P45) possuem duas soldas circunferenciais e uma solda longitudinal e são utilizados na indústria e no comércio.

O material utilizado na fabricação do recipiente é o aço carbono, cuja composição química e características mecânica foram definidas de acordo com a NBR 7460 e classificação GL1. As informações técnicas estão apresentadas na tabela 06.

O aço destinado a fabricação dos recipientes chega em forma de bobinas, que são submetidas a etapas de corte, conformação e soldagem.

As soldas realizadas incluem a união dos componentes acessórios (alças e bases) e uma solda estrutural (união das duas calotas) . Os componentes acessórios foram soldados através do processo MIG e MAG e a solda circunferencial pelo processo de Arco Submerso.

A espessura da chapa utilizada é 2,65mm e a geometria da junta pode ser visualizada na figura 20.

O esquema representativo do recipiente com as respectivas dimensões são mostrados na figura 21.

As demais soldas presentes no recipiente não necessitam de inspeção.

Todas as soldas estruturais foram realizadas por profissionais qualificados e certificados conforme os requisitos da norma brasileira.

Tabela 06 - Composição Química e Propriedades Mecânicas, Adaptado de (ABNT NBR 7460:2013)

	% C (máx)	%Mn (mín	%Si (máx)	% S (máx)	% P (máx)
GL1	0,18	0,8	0,3	0,035	0,03
LE _ TR	190 MPa	LR _ TR	340 MPa	ALONG	28%

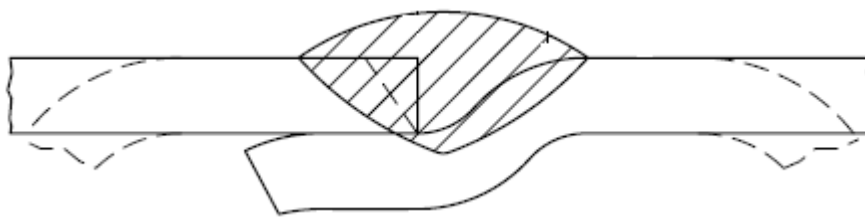


Figura 20 - Geometria da junta soldada - cobre junta permanente, Adaptado de (EN 1442)

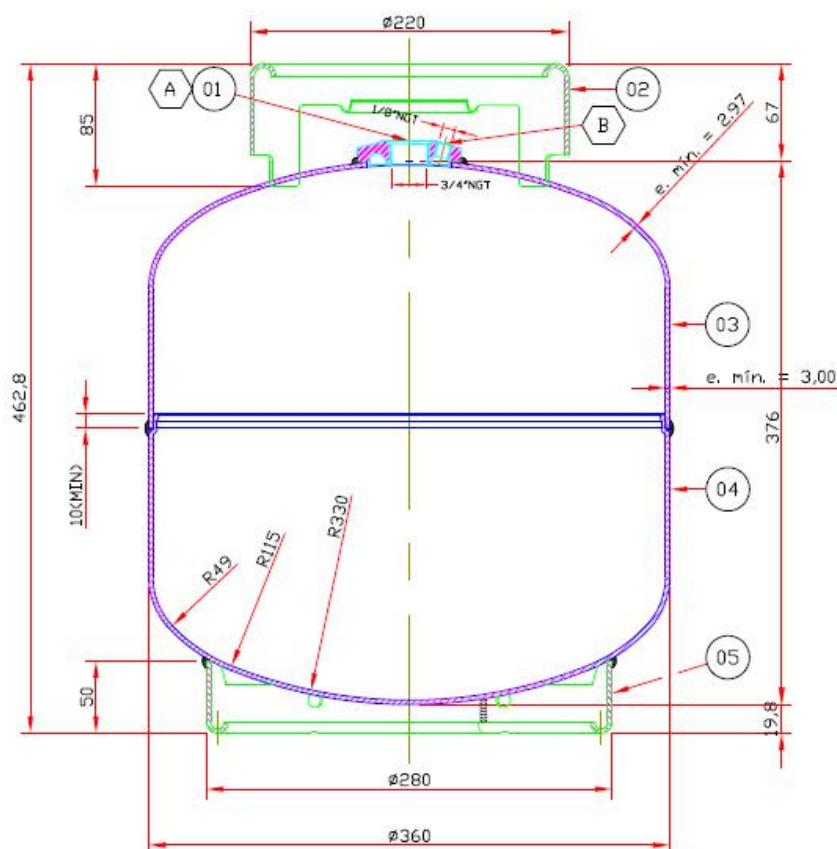


Figura 21 - Representação esquemática do recipiente P13 - Corte AA (SANTOS. A, 2018)

3.2. Processo de Soldagem – Arco Submerso (Defeitos Possíveis)

O processo de soldagem escolhido para fabricar os vasilhames foi o arco submerso.

Esse processo é um método no qual o calor requerido para fundir o metal é gerado por um arco formado pela corrente elétrica passando entre o arame de soldagem e a peça de trabalho.

A ponta do arame de soldagem, o arco elétrico e a peça de trabalho são cobertos por uma camada de um material mineral granulado conhecido por fluxo para soldagem por arco submerso.

Uma das vantagens desse processo é a alta produtividade, segurança para o operador, integridade do metal que será depositado (baixo índice de descontinuidades), processo de fácil uso

Os parâmetros principais a serem controlados é a tensão, corrente e a velocidade de soldagem. A escolha dos consumíveis também influencia na qualidade da solda.

Uma boa preparação da junta se faz necessária, no caso das calotas dos recipientes as mesmas devem estar limpas, isentas de óleo e demais sujidades.

Como se trata de um processo semiautomático a interferência do operador é mínima, o que mitiga a ocorrência de defeitos.

Os defeitos comumente encontrados neste processo são os poros e inclusão de escória.

Devido a isso, o objeto de estudo desse trabalho será avaliar a presença dos poros no cordão de solda

Neste projeto foi construído um recipiente de referência (figura 22), com alguns defeitos inseridos, de forma a avaliar a detectabilidade do equipamento



Figura 22- Recipiente P13 - Modelo elaborado com defeitos para estudo preliminar.
(SANTOS.A, 2018)

3.3. Cabine Radioscópica

Para obter as imagens radioscópicas e os filmes radiográficos, foi utilizado o equipamento de radioscopia Industrial, modelo CST 7GXA 160, fabricante GILARDONI, mostrado na figura 23.

A cabine possui um painel de controle que permite a movimentação das amostras conforme mostra a figura 24. Através do painel é possível movimentar os eixos e o prato de maneira a posicionar adequadamente a peça e obter as imagens.

O equipamento permite operar tanto em modo radioscópico quanto em modo de radiografia convencional.

O sistema de geração de imagens e raios-x (sistema radiógeno) consiste num sistema acoplado de movimentação de 7 eixos e prato giratório conforme ilustrado na figura 25. Os eixos movimentam-se nas direções Y e Z permitindo enquadrar a imagem conforme a necessidade do operador.

Devido a esses recursos é possível movimentar a peça que será avaliada, permitindo a visualização de toda a área circunferencial do recipiente

Para ambos processos o mesmo equipamento foi utilizado alterando apenas os parâmetros e o modo de operação.

Vale ressaltar que a possibilidade de inclinação da tela é possível apenas no modo Radioscopia



Figura 23 - Cabine de Radioscopia Industrial , (SANTOS.A, 2018)



Figura 24 - Painel de Controle, Cabine Radioscopia, destaque para o monitor e controles do sistema no painel , (SANTOS.A, 2018)

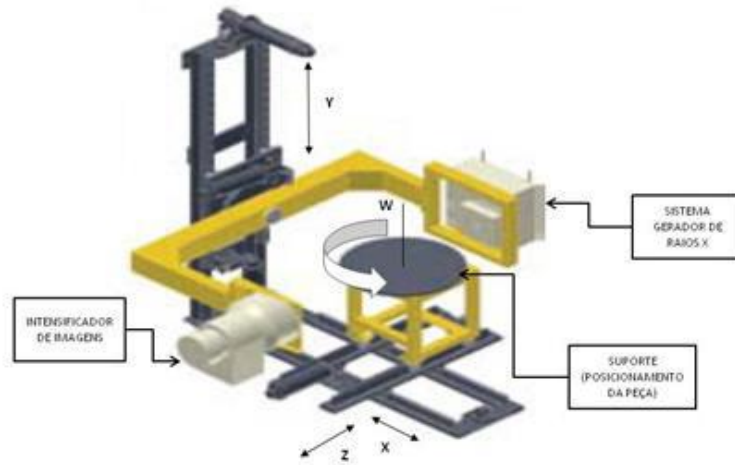


Figura 25 - Sistema Radiógeno -Adaptado de (GILARDONI, 2011).

A cabine possui sistema de aquisição de imagens que consiste numa tela intensificadora e um painel de controle com software de aquisição e tratamento de imagens acoplado.

O sistema de geração de imagens possui 12 bits.

O equipamento permite operação automática e manual. O painel de controle permite ajustar a melhor configuração para visualização da imagem e dispõe de recursos como zoom digital e zoom analógico que permitem alterar o enquadramento da imagem. A grande vantagem desses recursos é que permite ao operador realizar o melhor enquadramento gerando imagens sucessivas que podem descrever melhor uma descontinuidade.

Abaixo um detalhamento mais específico de cada componente e seu mecanismo de funcionamento.

3.3.1. Cabine

É uma cabine fabricada para a inspeção de peças, e de forma atender os requisitos de segurança é construída de chapa metálica e uma espessura de chumbo conforme ilustra a tabela 07 a seguir, o modelo utilizado é um modelo de 160kV

Tabela 07 - Espessura de chumbo nas paredes da cabine – Adaptado de (GILARDONI, 2011).

	160 kV - 4 mA.	225 kV – 7 mA
Base	4 mm	7/12 mm
Teto	4 mm	7/12 mm
Parede esquerda	6 mm	12 mm
Paredes restantes	4 mm	7 mm
porta	4 mm	7 mm

Possui dispositivos de segurança e intertravamento nas portas que impede a abertura e o fechamento da porta com o raios-X em funcionamento

3.3.2 Manipulador (Sistema de Movimentação)

O manipulador é sistema dotado de 7 eixos que permite a movimentação do sistema não sendo necessário a inclinação e/ou movimentação da peça no interior da cabine, pelo operador . Conforme ilustrados na figura 26

A peça é fixa no prato giratório e o que os eixos de adaptam de forma a gerar a imagem melhor posição para a aquisição

Os eixos são comandos por duas alavancas que ficam no painel de controle



Figura 26 - Cabine vista interna - A esquerda tela intensificador de imagens, a direita fonte geradora de raio X - onde é colocado o diafragma. Adaptado de (GILARDONI, 2011)

3.3.3. Painel de Controle

Sob o painel de controle existem comandos de operação da cabine e do ensaio, comandos utilizados para o acionamento da cabine, alavancas de comando, teclado de membrana, uma saída USB, uma chave de partida e alguns botões de LED. A vista completa do painel é mostrada na figura 27 e uma visão detalhada do painel também pode ser verificada é neste local que o inspetor realiza a movimentação e as ações pertinentes a atividade a ser desempenhada:



Figura 27 - Painel de Comando: 1) Teclado de membrana; 2) Entrada USB; 3) Botão de Emergência; 4) Alavanca de comando DIR; 5) Alavanca de comando ESQ; 6) LED's de avisos; 7) Botões de Membrana; 8) Ligar equipamento; 9) Partida do ciclo automático; 10) Fechar porta da cabine; 11) Abrir porta da cabine. Adaptado de (GILARDONI, 2011)

3.3.4. Requisitos de segurança

Para operar sistemas envolvendo radiação ionizante a legislação Brasileira, exige que sejam cumpridos requisitos de proteção radiológica.

O órgão que regulamenta atividade no Brasil é a CNEN que conforme mencionado no item 2.4 fornece as normas de operação deste equipamento,

De acordo com a norma CNEN NN 6.04 este tipo de equipamento é classificado como uma instalação do tipo I que engloba a categoria de equipamentos autoblindados.

A maioria dos sistemas de radioscopia fazem parte deste grupo e possuem níveis de radiação no em torno do equipamento considerados níveis de público.

Antes do comissionamento desses equipamentos a futura instalação precisa atender os critérios estabelecidos pela CNEN assim como o aparelho deve ter sido projetado em conformidade com os níveis de radiação aceitáveis.

O equipamento descrito em 3.3 possui níveis de radiação menores que 1 $\mu\text{Sv/h}$ a 10 cm de distancia do equipamento, e dispositivos de segurança que interrompem imediatamente a geração de radiação ionizante.

O equipamento permite condições mais seguras no aspecto de radioproteção aos operadores, visto que o sistema radiógeno está montado no interior de uma cabine blindada totalmente fechada e certificada.

O mesmo é dotado de sistemas de intertravamento, inclusive com monitor fixo de área ligado ao sistema de intertravamento, sinalização visual e sonora interligados ao sistema de raios X.

3.3.5. Sistema de Detecção

A geração das imagens obtidas através de um ensaio não destrutivo, fundamenta-se na base que para analisar um objeto, tem-se como interesse obter diferenças entre as energias que atravessam o objeto provocadas pela atenuação que o material causa.

Essas diferenças estão relacionadas as características do material a ser inspecionado, isso possibilita a visualização de pequenas estruturas.

Os raios X que atravessam o material, não fornecem informações que possam ser interpretadas visualmente, esses raios precisam ser convertidos.

Normalmente um detector é constituído por um elemento material sensível a radiação e um sistema que converta essa radiação em sinal elétrico. Nestes tipos de detectores utiliza-se material fluorescente que é capaz de emitir um fóton de luz quando excitado. O sistema disponível no equipamento é a tela intensificadora seguido câmera

CCD capaz de converter os fótons de luz em nível elétrico e posteriormente em imagens conectado no monitor digital.

3.3.6. Software

O sistema conta com um software que possuem um processador de imagens que visa adequar os parâmetros da imagem, para permitir a melhor visualização do inspetor. É possível realizar ajustes nos níveis de brilho, contraste, aplicar filtros para a diminuição do ruído e realce de bordas. Também é possível criar padrões de referência e reconhecer essas áreas automaticamente.

Todas as imagens podem ser armazenadas em formatos compatíveis com os sistemas usuais.

3.4. Objeto de Estudo - Sobreposição

O estudo foi realizado na área considerada crítica, onde a probabilidade da existência de descontinuidades no cordão de solda é maior devido a sobreposição dos cordões de solda. Para facilitar o entendimento o setor foi marcado como trecho 1-2 e pode ser visualizado na figura 28.

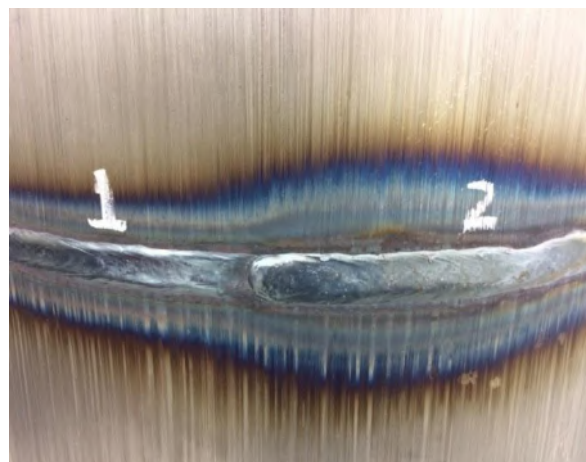


Figura 28 - Área de interesse - Região de Sobreposição do cordão, (SANTOS.A, 2018)

Esta área é considerada crítica por ser um concentrador de tensões, região de coalescência de metal de solda, trecho com a maior probabilidade de serem encontradas descontinuidades provenientes do processo de soldagem.

De acordo com as dimensões do cordão, o mesmo pode ser dividido em 10 partes iguais caso deseje avaliar as demais áreas bastando girar no eixo W o prato giratório e registrar os trechos subsequentes conforme visão superior do recipiente e as respectivas marcações mostradas na figura 29 abaixo:

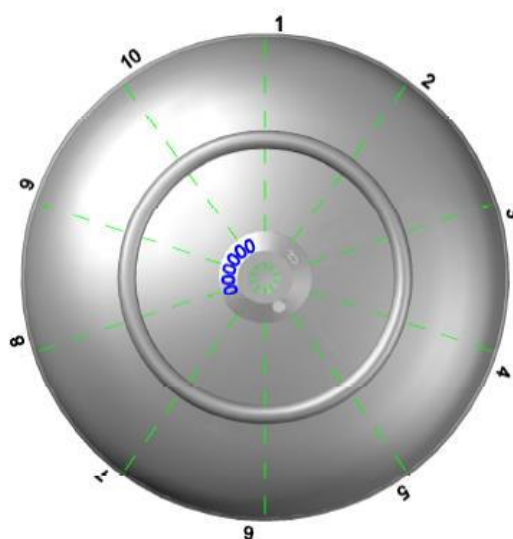


Figura 29 - Representação da indicação de posição dos marcadores, a referência 1-2 é a área da sobreposição, as demais áreas recebem numeração subsequente (SANTOS.A, 2018)

3.5. Posicionamento do recipiente no interior da cabine

O posicionamento adequado foi o mais próximo possível da tela intensificadora que seria uma posição $Z > 250$ até $Z = 360$. De forma que fosse possível posicionar o suporte com os IQI e marcador de solda. Assim as posições equivalentes em milímetros são: distância-fonte-objeto = 370 mm; distância fonte-detector = 1055mm; distância-objeto-detector = 315 mm. . Dessa forma era possível obter uma imagem centralizada do cordão de solda.

A figura 30 mostra o sistema definido para a aquisição das imagens

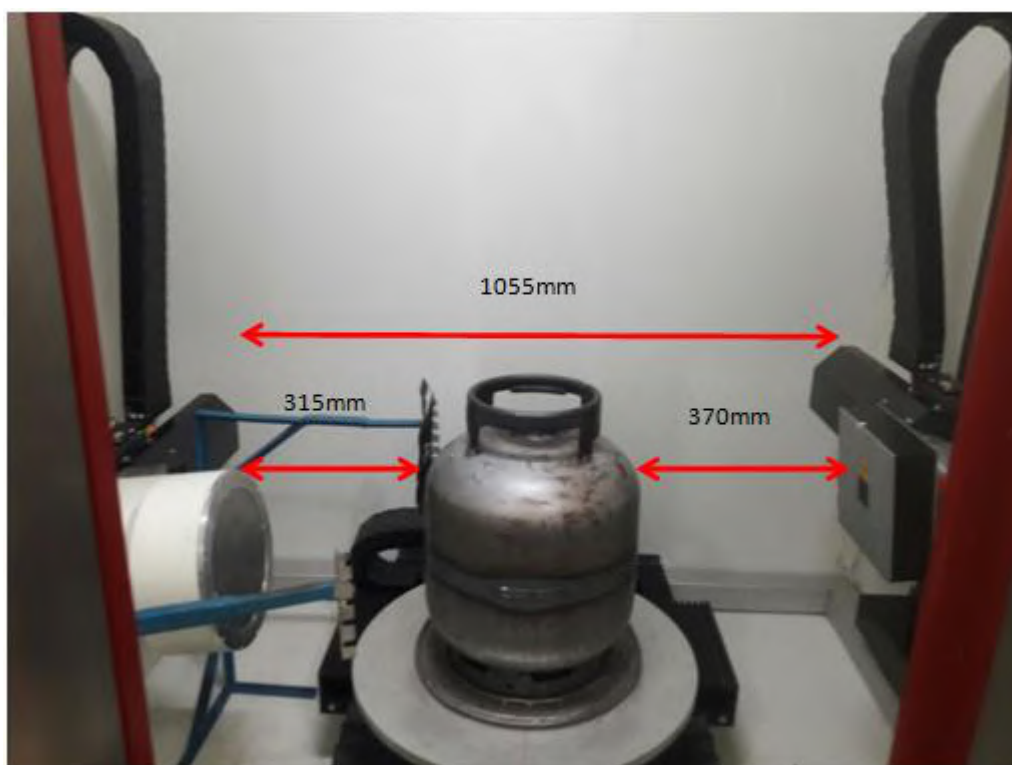


Figura 30 - Posicionamento do objeto dentro do sistema fonte x detector. (SANTOS, A 2018)

3.6 Aquisição das Imagens

3.6.1. Radiografia Industrial

O ensaio de radiografia convencional foi realizada na área destacada em 3.3, a imagem obtida será denominada a imagem de referência

O filme escolhido KODAK M100, é classificado como filme classe I e granulometria fina. A escolha do filme foi realizada de modo que a imagem gerada obtivesse um bom contraste.

Os parâmetros de exposição foram definidos de acordo com a curva característica do filme e estão mostrados na tabela 08.

O modo de exposição utilizado foi PDVS (parede dupla vista simples)., pois o feixe atravessa as duas paredes do vasilhame, porém apenas o lado mais afastado da fonte é registrado. Isso é possível devido a inclinação da fonte de raios-X

O objeto foi posicionado a uma distância de 1 m da fonte e filme posicionado sobre o cordão

O IQI utilizado foi o 10ISO16 (Figura 31) e adotado como critério identificar o FIO 13.

Esse critério foi definido pela ABNT NBR 15739 para a faixa de espessura do corpo de prova.

Para auxiliar nas medições foi desenvolvido um padrão visual, cujas dimensões são conhecidas como um marcador de solda mostrado em destaque na imagem 32. Este padrão consiste em um trecho do cordão de solda com um furo cujo diâmetro representa o tamanho máximo de um poro aceitável de acordo com a norma de fabricação ABNT NBR 8460.

O ensaio foi realizado utilizando o equipamento descrito em 3.3 .

As imagens foram reveladas utilizando sistema de revelação convencional conforme etapas descritas em 2.2 no laboratório de ensaios não destrutivos.

Tabela 08 - Parâmetros utilizados para a Radiografia Convencional - (SANTOS. A , 2018)

Técnica	kV	mA	Tempo [s]	IQI	FIO IQI	Filme
PDVS	140	7	150	10ISO16	13	KODAKM100



Figura 31 - IQI de fios utilizado nas imagens. (SANTOS.A,2018)

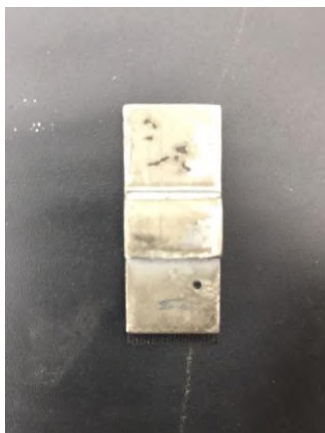


Figura 32 - Padrão visual - Solda de referência utilizado para referenciar as imagens.
(SANTOS.A, 2018)

3.6.2. Radioscopia Industrial

Após a realização dos ensaios radiográficos, foi iniciado o processo de ajuste da cabine de forma a encontrar as melhores condições de ensaio.

O recipiente também foi posicionado a 315mm de distância da tela intensificadora, que era a menor distância possível de forma a acomodar o sistema, conforme figura 33, o IQI, e o padrão de solda)



Figura 33 - Preparação para o ensaio, sistema: detector - objeto- fonte. (SANTOS.A, 2018)

O feixe de radiação atravessa as duas paredes do vasilhame e incide na tela intensificadora, mostrando a imagem na tela da parede mais próxima ao detector.

O sistema de aquisição de imagens permite ajustar a ampliação digital usando as telas 9", 6" e 4" polegadas ,sendo assim a medida em que se diminui o tamanho das telas, um aumento digital é obtido porém a medida em que se aumenta o zoom digital é necessário um número maior de imagens para realizar a varredura dos recipientes.

Devido a isso de forma a padronizar as imagens, foi definido o uso, do focos de aquisição de 9", todo o vasilhame é registrado (1 ao 10) através de 10 imagens de cada um dos trechos.

Todavia quando são necessárias investigações mais detalhadas, podem ser utilizados os padrões com as telas (focos) de 6" e 4" que permitem visualizar com mais detalhes, geralmente esses recursos são utilizados quando se deseja quantificar e/ou dimensionar uma descontinuidade.

A diferença entre as telas é quantidade de pixels por área, no caso quanto menor o número da tela, maior a quantidade de pixels por unidade de medida e consequentemente maior a resolução espacial da imagem gerada,.

Os ensaios foram realizados primeiramente sem utilizar os recursos de tratamento de imagens disponíveis.

Depois as imagens geradas foram submetidas a etapas de processamento de imagens com a passagem de filtros que estão descritos no item 3.4.3

O ensaio de radioscopia foi realizado no mesmo trecho inspecionado na radiografia industrial, porém os parâmetros necessários para obter a qualidade de imagem foram distintos da técnica de radiografia convencional conforme pode ser visto na tabela 10 e na figura 34.

Para a radioscopia industrial parâmetros relacionados a aquisição da imagem devem ser fixados, os níveis de cinza da imagem resultante devem ser previamente fixados de forma a minimizar os ruídos.

A velocidade de aquisição também é um parâmetro importante a ser fixado, embora gere uma imagem mais lenta, este diminui significativamente o nível de ruído da

imagem final. isso ocorre devido ao o uso das recursivas que são na realidade uma sobreposição das imagens adquiridas automaticamente com o objetivo de reduzir o ruído da imagem original, e por este motivo foram avaliados os efeitos na imagem original e coma aplicação dos frames (recursivas) de #2 até #32.

Tabela 10 - Parâmetros utilizados para a Radioscopia Industrial - (SANTOS. A, 2018)

Técnica	kV	mA	Gray Min	Gray Max	IQI	FIO IQI	X	Y	Z
PDVS	90	3.2	167	1987	10ISO16	13	178-218	967-1182	250-360

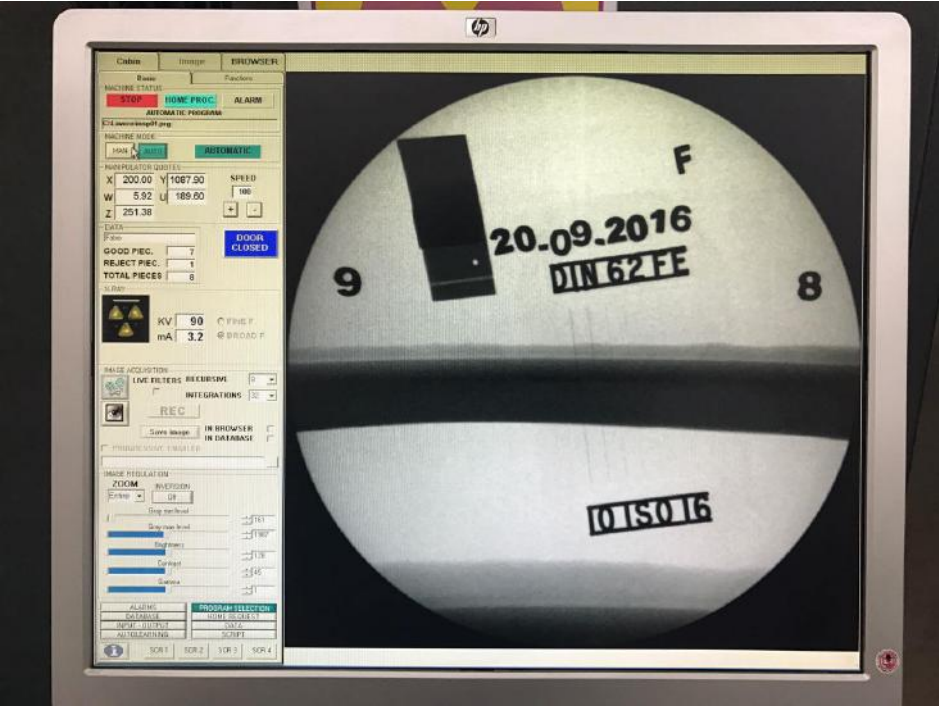


Figura 34- Imagem do monitor com os parâmetros utilizados no ensaio, (SANTOS.A, 2018)

As posições dos eixos X, Y e Z devem ser operados dentro das faixas recomendáveis na tabela acima. Os eixos W e U são de livre movimentação pois depende do que o operador deseja focalizar.

De forma a reduzir o ruído ficou definido que as imagens devem ser registradas com uma recursiva (de no mínimo 16).

No Capítulo 4 serão mostrados os resultados das imagens com as diferentes recursivas (frames)

3.6.3. Processamento de Imagens

Após a aquisição das imagens, realizou-se um tratamento na imagem para avaliar os recursos do equipamento.

Foram aplicados dois filtros em separado com objetivo de melhorar a capacidade de diferenciação dos níveis de cinza.

Primeiramente foi aplicado um filtro nomeado pelo fabricante de TIPO C que melhora a resolução em contraste da imagem permitindo a melhor visualização de algumas regiões.

Na imagem original também foi aplicado o filtro Sharp B que melhorou o aspecto da imagem tornando a mais nítida e melhorando o contraste entre os tons de cinza e realçando também as bordas e os contornos da imagem. Este segundo filtro foi encontrado na literatura como passa-alta

Esses recursos estão disponíveis num momento posterior a inspeção onde o operador pode acessar os arquivos e aprimorar as imagens adquiridas de avaliar de maneira mais detalhada para realizar uma investigação e busca de defeitos.

3.7 Planejamento da operação dentro do controle de qualidade das peças a serem inspecionadas

Uma vez definido o sistema, parâmetros e escolhido o método adequado, foi elaborado um fluxograma que mostra como o ensaio é determinante para a melhora do processo produtivo e como pode ser compreendido

O fluxo abaixo como mostra a figura 35 foi elaborado para identificar todas as etapas desde a coleta das imagens até a finalização dos ensaios e liberação dos laudos para a avaliação

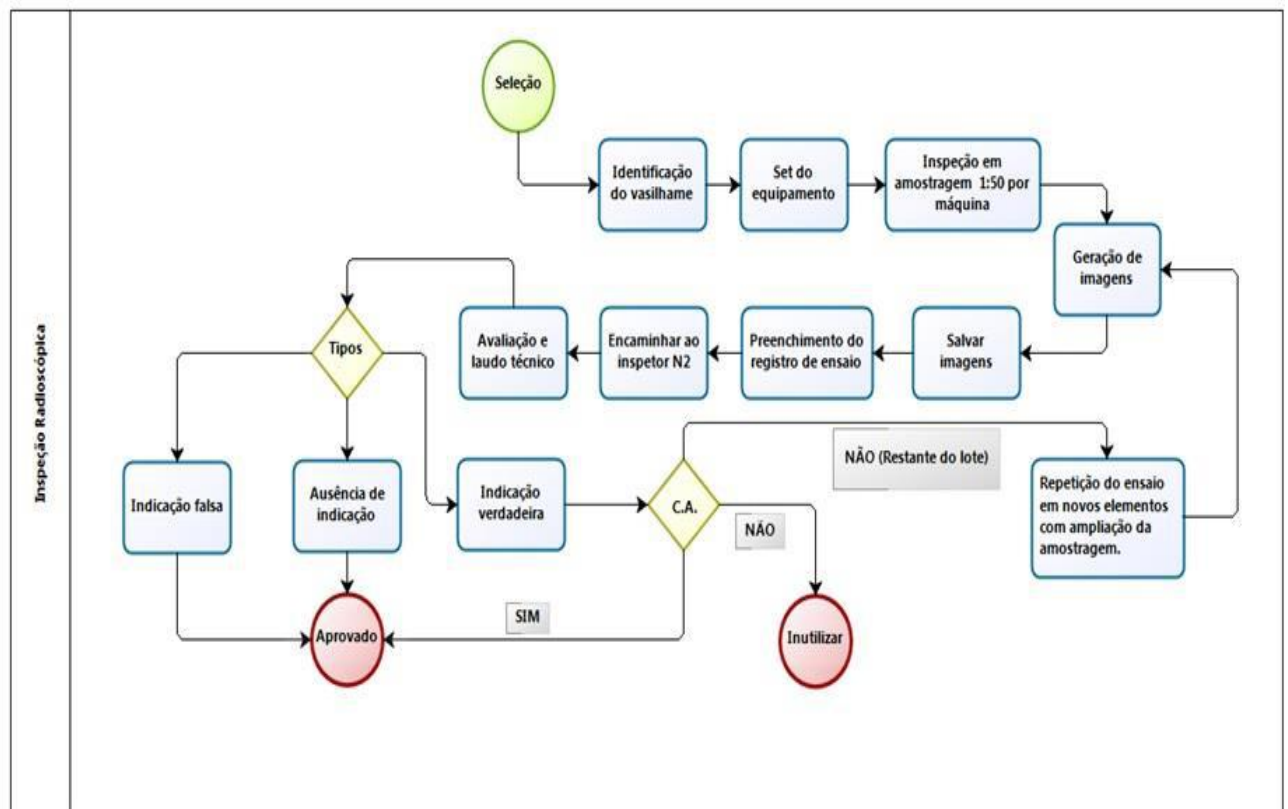


Figura 35 - Fluxo proposto para a realização dos ensaios de radioscopia, (SANTOS.A, 2018)

O realização do ensaio não destrutivo, deve ser no caso a radioscopia, conforme cita a norma é o primeiro a ser realizado conforme os requisitos definidos pela ABNT NBR 8460:2011

Deve ser realizado no início de cada produção, com o objetivo de avaliar a performance dos equipamentos de solda. Apenas após a realização da radioscopia é que a linha de produção segue o fluxo normal e os vasilhames estão liberados para as etapas posteriores.

Ao longo da produção são retiradas amostras subsequentes para avaliar a estabilidade do processo.

Caso sejam reprovados, os defeitos detectados devem ser corrigidos, sendo feitas alterações nos pontos que geraram a anomalia, sejam eles no processo de soldagem ou no processo de conformação.

Outros aspectos avaliados foram o tempo necessário para a realização do ensaio não destrutivos e custo estimado para a inspeção comparando as duas técnicas.

3.8. Classificação das técnicas de acordo com as normas CNEN nos requisitos de proteção radiológica

Para melhorar a compreensão e diferenciação das técnicas propostas foi feito um quadro comparativo, baseado nas normas CNEN NN 6.02 e CNEN NN 6.04 de acordo com as características propostas para cada técnica, com a classificação dos equipamentos, requisitos mínimos de equipe e instrumentação para o serviço de proteção radiológica que será apresentado no capítulo seguinte dedicado aos resultados e discussão

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo da realização dos ensaios utilizando as duas técnicas foi obter resultados que permitissem comparar as imagens e comentar aspectos operacionais do uso das mesmas.

É importante ressaltar que neste trabalho, a comparação entre as técnicas foi direta, ou seja as imagens obtidas através da radioscopia não sofreram tratamento de imagem. Isso se deve ao fato de que neste primeiro momento priorizou-se pela reprodução das condições operacionais disponíveis para a realização dos ensaios (rotina dos inspetores).

As etapas de tratamento de imagens foram utilizadas posteriormente e apenas para mostrar algum dos recursos do equipamento. Será apresentada a influência do uso das recursivas na qualidade da imagem adquirida.

Também será apresentado o fluxo de ensaios proposto e o tempo médio estimado para a realização do ciclo de inspeção utilizando a radiografia em comparação com a radioscopia como também o quadro comparativo entre as duas técnicas perante os requisitos mínimos estabelecidos pela CNEN.

4.1. Radiografia industrial

O resultado obtido com a radiografia industrial pode ser observado na figura 36, a imagem obtida mostra a visualização do fio 13 sendo possível a visualização de alguns poros, porém apenas um deles com nitidez significativa (indicado na imagem) como a também o IQI produzido para a imagem de forma a definir os critérios de aceitação de acordo com a NBR 8460. Foram geradas 10 imagens radiográficas, o tempo total para realizar a varredura em um único recipiente foi de aproximadamente 45 min (apenas para realizar as radiografias) tendo como base os 150 segundos de exposição acrescidos do tempo de preparação (colocação do filme nos trechos a serem inspecionados e posicionamento da peça) que aumenta em aproximadamente 120 segundos totalizando cerca de 270 segundos entre uma radiografia e outra

Posteriormente ainda se faz necessário a revelação dos filmes para avaliação da imagem e verificação se foi obtida adequadamente totalizando minimamente 1 hora até que se tenha os resultados de um único recipiente.

No item específico sobre a comparação entre as condições de operação das duas técnicas ficará mais claro o impacto desse tempo adicional, por hora vamos nos ater a

característica da radiografia obtida. Neste caso colocou-se apenas a imagem da região de interesse devido ao encontro nessa região de descontinuidades que necessitam se avaliadas para categorizar em aceitáveis ou não aceitáveis.

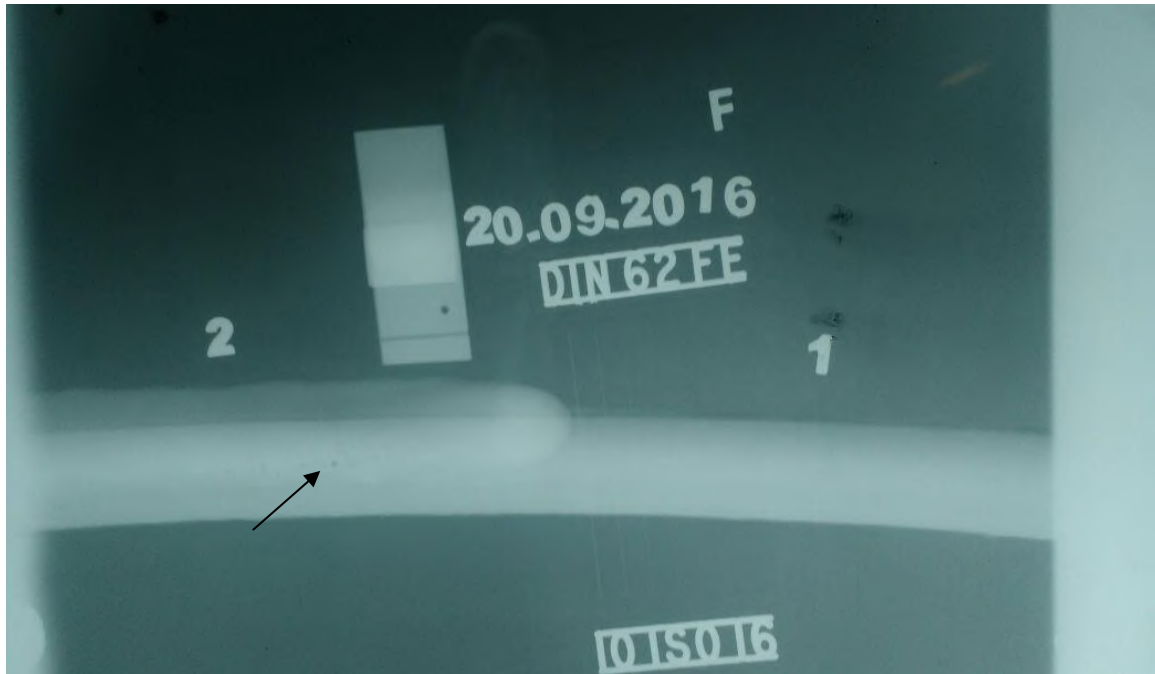


Figura 36 - Imagem Radiográfica - Trecho 1-2, área com presença de poro destacada pela seta, visualização do fio 13 na imagem. - (SANTOS. A, 2018)

4.2. Radioscopia industrial

Em etapa anterior a aquisição formal das imagens radioscópica, foram testados alguns arranjos para a obtenção das imagens, um efeito essencial e que melhora significativamente a qualidade da imagem obtida é uso das recursivas mencionados anteriormente

Essas recursivas são capazes de reduzir em tempo real os ruídos das imagens. A sobreposição das imagens é tão rápida (da orden de ns) que o operador não percebe que está sendo realizado.

A sequência de imagens 37 à 42 mostra o efeito das recursivas que segue a potência de 2 indo de 2^0 (1) até 2^5 (32).

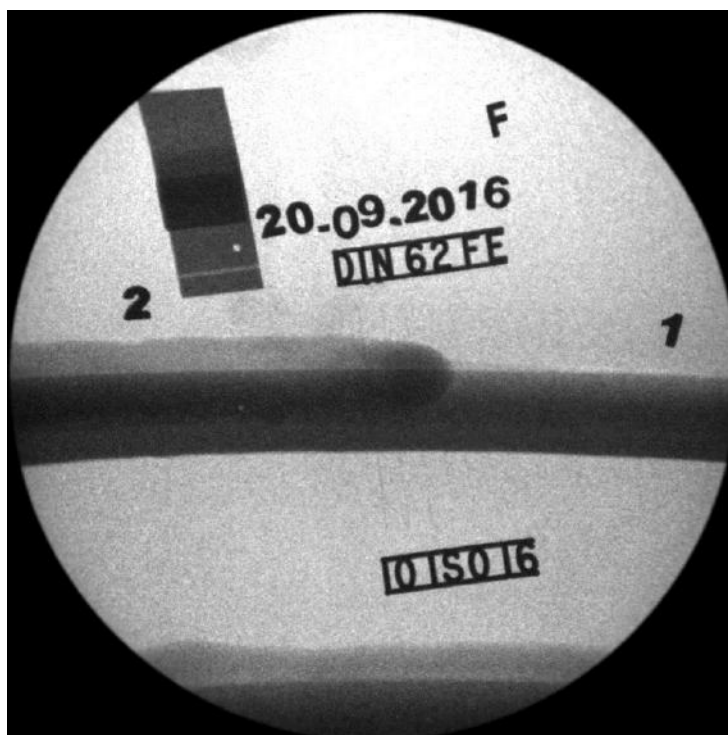


Figura 37 - Imagem Radioscópica em tempo real sem a aplicação de recursivas (2^0) para a redução do ruído da imagem - (SANTOS, A , 2018)

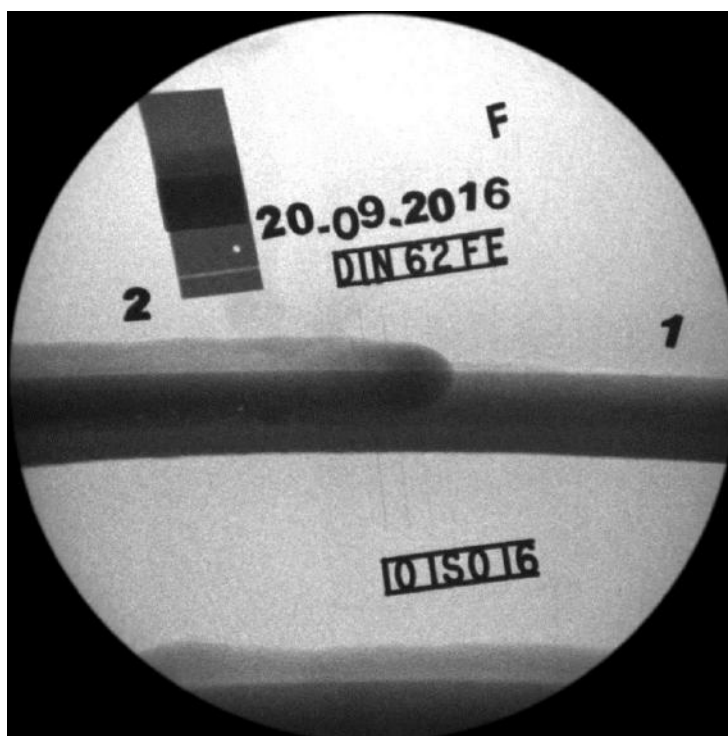


Figura 38 - Imagem Radioscópica em tempo real com a aplicação de recursivas (2^1) para a redução do ruído da imagem - (SANTOS, A , 2018)

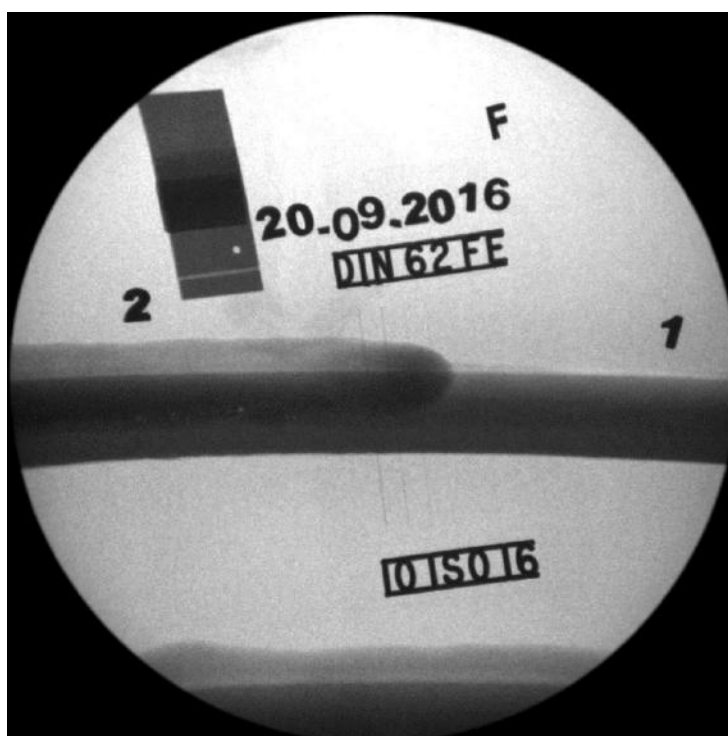


Figura 39 - Imagem Radioscópica em tempo real com a aplicação de recursivas (2^2) para a redução do ruído da imagem - (SANTOS, A , 2018)

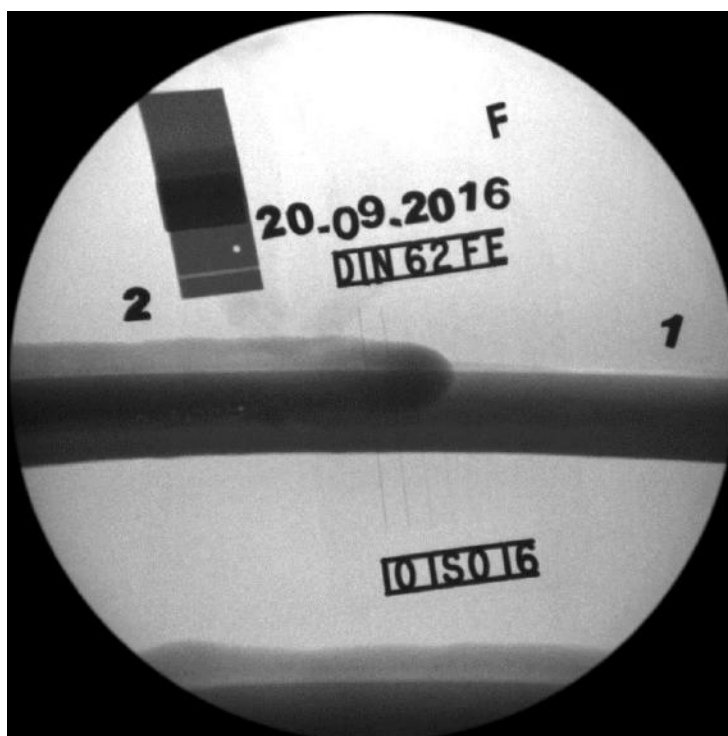


Figura 40 - Imagem Radioscópica em tempo real com a aplicação de recursivas (2^3) para a redução do ruído da imagem - (SANTOS, A , 2018)

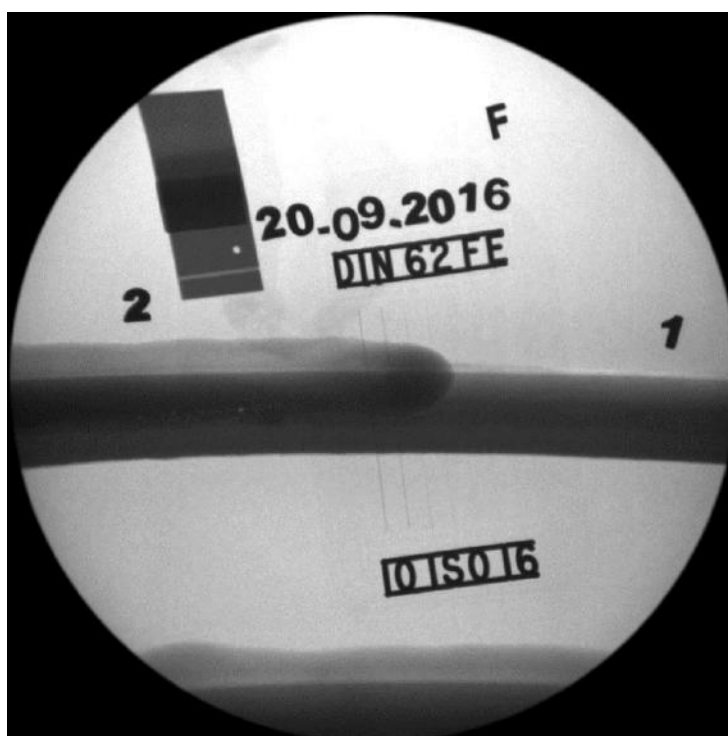


Figura 41 - Imagem Radioscópica em tempo real com a aplicação de recursivas (2⁴) para a redução do ruído da imagem - (SANTOS, A , 2018)

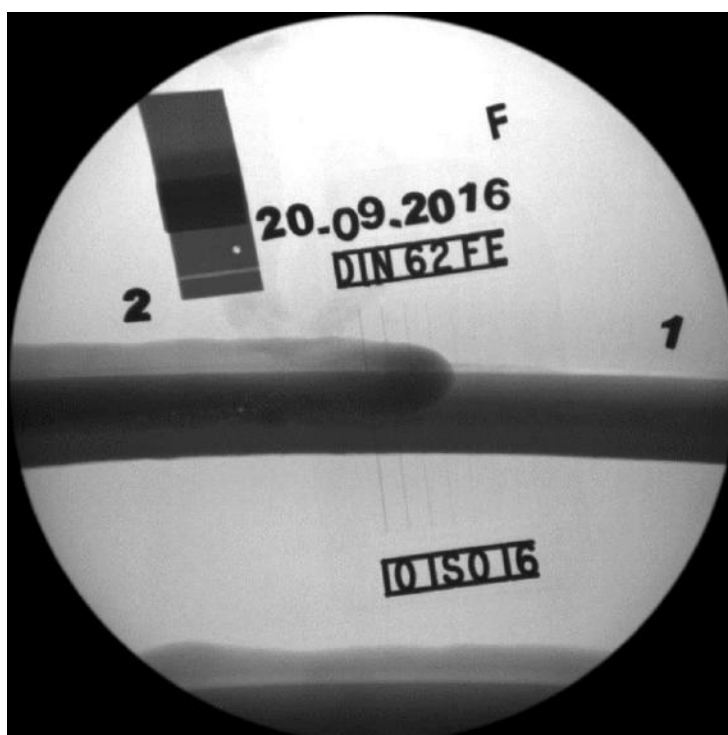


Figura 42 - Imagem Radioscópica em tempo real com a aplicação de recursivas (2⁵) para a redução do ruído da imagem - (SANTOS, A , 2018)

Com base na avaliação das imagens obtidas convencionou-se que para este trabalho as imagens seriam obtidas com no mínimo a aplicação da recursiva 2⁴ que já apresenta um nível interferência muito baixo de acordo com a sensibilidade visual do operador pelo aspecto da imagem obtida. Dessa forma para padronizar as imagens todas foram obtidas fazendo uso deste recurso.

A imagem obtida pela radioscopia industrial é considerada invertida, pois toda a região da tela intensificadora que foi sensibilizada diretamente pela radiação ionizante permaneceu mais clara enquanto que na imagem radiográfica esta parte se apresenta mais escura.

Assim de forma compreender o conceito de imagem invertida, primeiro vamos explicar o que seria uma imagem direta, tendo como referência a imagem radiográfica : a ausência ou menor quantidade de material é avaliada como a região mais escura da imagem e região com maior quantidade de material e vista como a parte mais clara da imagem.

Na radioscopia esse conceito é o inverso, na imagem 43 é possível verificar a presença do poro visualizado na imagem radiográfica como sendo um ponto claro (ausência de material) e a região onde existe material mais escura.

Comparando a imagem radioscópica mostrado na figura 43 com a imagem radiográfica mostrada na figura 36 é possível verificar um melhor contraste que o obtido pela imagem convencional. Nota-se de imediato uma melhora na detecção dos defeitos , sendo possível agora evidenciar a formação de clusters no cordão.



Figura 43 - Imagem Radioscópica - Trecho 1- 2 (Sem processamento) - (SANTOS, A , 2018)

A melhora do contraste também é evidenciada avaliando o aspecto do IQI fabricado para auxiliar no dimensionamento do poro posicionado na imagem. O FIO 13 pode ser observado de maneira mais detalhada

Num primeiro momento avaliando as duas imagens podemos dizer que a radioscopia conseguiu mostrar o mesmo defeito que na radiografia se adotarmos como parâmetro a visualização do fio do IQI.

Trabalhos anteriores neste tema já afirmaram a equivalência das técnicas destacando que o fator determinante seria a aplicabilidade, neste caso para a inspeção de recipientes a radioscopia cumpriu o requisito mínimo, sem que fosse utilizado ainda os recursos de tratamento de imagens disponíveis.

No próximo tópico a imagem mostrada na figura 43 será tratada e poderemos avançar na defesa que a radioscopia para o cenário proposto possui uma configuração melhor, ou no mínimo equivalente se comparada a radiografia convencional.

Alguns outros aspectos podem ser considerados na comparação das duas técnicas, aspectos que envolvem a operação do sistema, como por exemplo o tempo de geração da imagem que na radioscopia é imediato e na radiografia convencional é de no mínimo 60 min. (considerando as etapas de aquisição e revelação). Um outro ponto a ser abordado é quantidade de energia envolvida para a geração da imagem que na radiografia é necessário uma volume superior cerca de 70 % (considerando o tempo de exposição) e que está também diretamente vinculado ao critério da proteção radiológica que também será melhor discutido adiante

Comparando as duas imagens, a obtida através da radioscopia possui maior resolução em contraste que a gerada pela radiografia.

PEREIRA. 2009 em trabalho semelhante, também evidenciou que as imagens obtidas eram similares, quando não consideradas idênticas e destacando a elevada qualidade na imagem obtida pela radioscopia.

4.3. Processamento de Imagens

Na mesma imagem (Figura 43) foi aplicado filtro TIPO C de tratamento de imagem que será apresentado nas imagens abaixo. Repetimos a imagem original para que possa ser melhor compreendido o efeito do filtro utilizado (Figura 44 à 47)

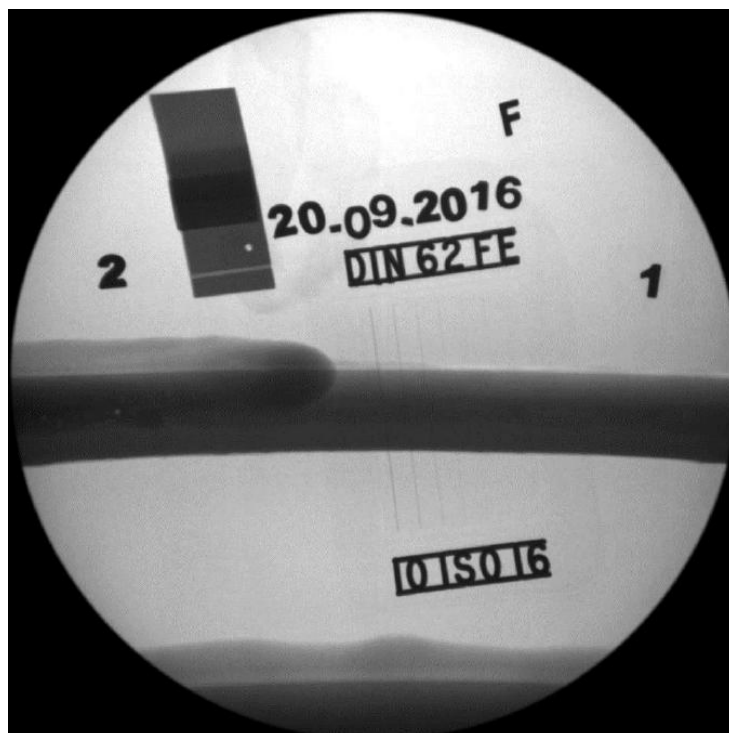


Figura 44 - Imagem Original sem tratamento de imagens da região 1-2 apresentada anteriormente, nesta imagem é possível visualizar a presença de poros aglomerados e o fio 13 do IQI . (SANTOS, A , 2018)

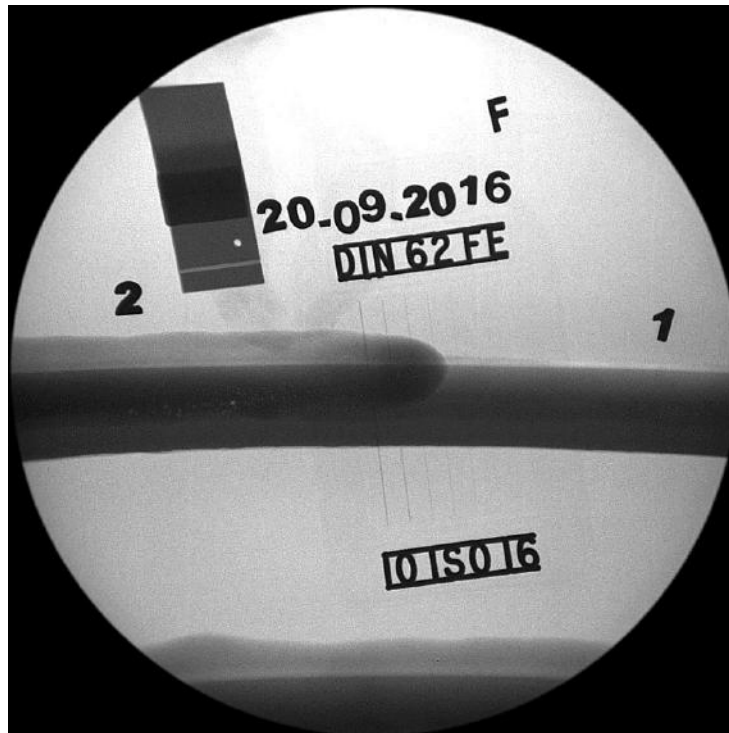


Figura 45 - Imagem com tratamento de imagens da região 1-2 - Filtro C3X3 .
(SANTOS, A , 2018)

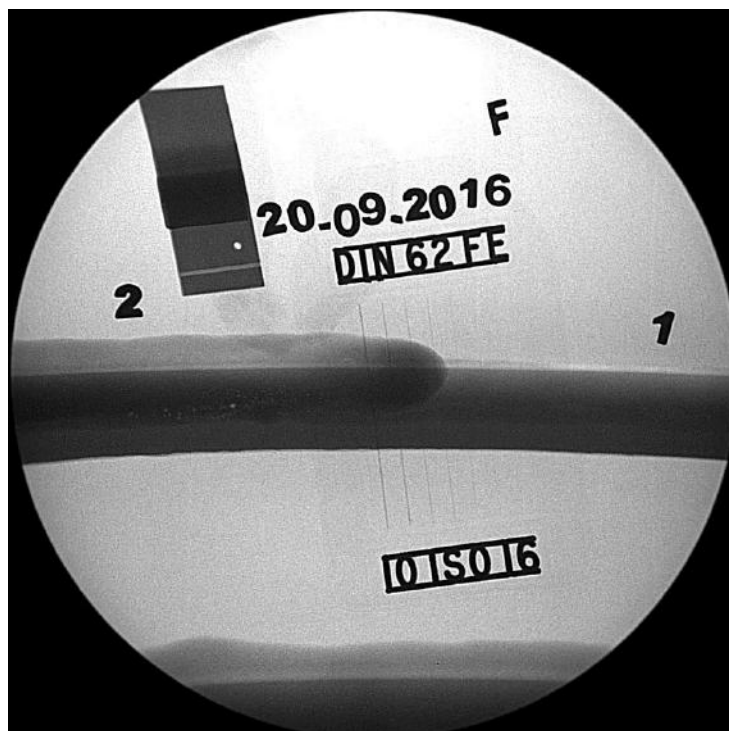


Figura 46 - Imagem com tratamento de imagens da região 1-2 - Filtro C5X5
(SANTOS, A , 2018)

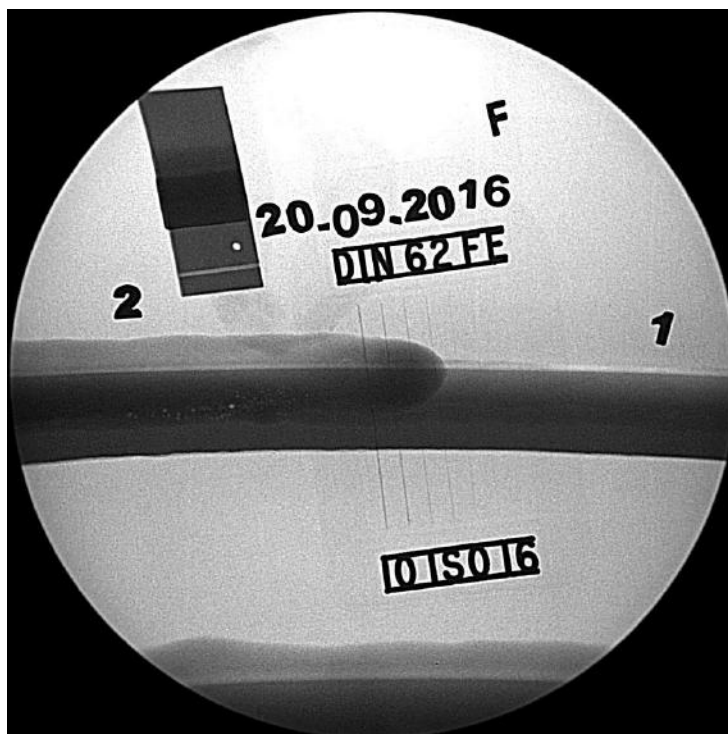


Figura 47 - Imagem com tratamento de imagens da região 1-2 - Filtro C7X7 .
(SANTOS, A , 2018)

Nas imagens acima onde foi aplicado o processamento de imagens o filtro de tratamento aplicado TIPO C de imagens, cuja aplicação permitiu a visualização do FIO 14, esse acréscimo na sensibilidade, mostra o aumento da resolução espacial da imagem, permitindo a visualização de defeitos ainda menores e maior detalhamento da imagem.

Além deste filtro tipo C utilizado na imagem original foi aplicado o filtro tipo SHARP B que apresentou resultado mais satisfatório que o filtro C porém ambos melhoraram a resolução em contraste da imagem, melhorando o aspecto e permitindo a diferenciação das regiões de interesse.

A figura 48 mostra a imagem original com a aplicação do filtro Sharp B

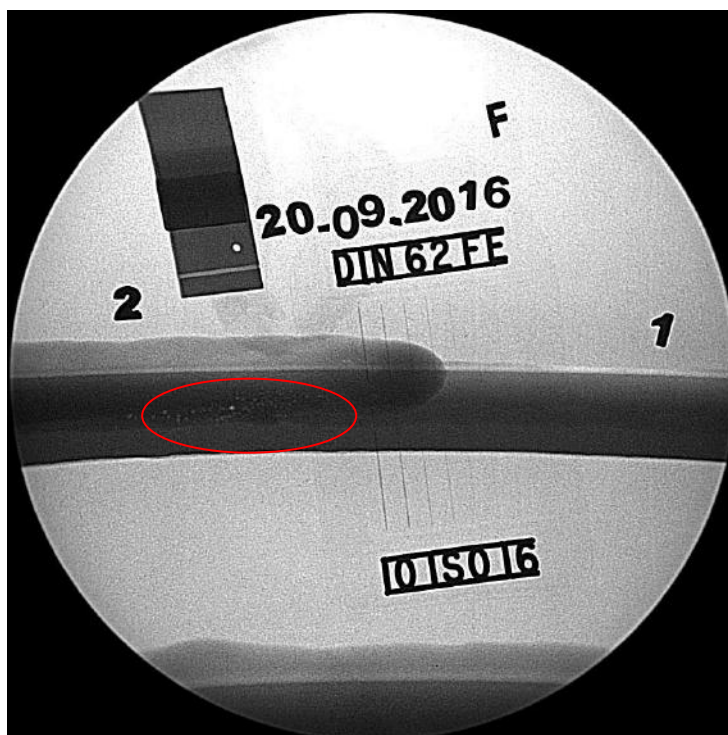


Figura 48 - Imagem com tratamento de imagens da região 1-2 - Filtro Sharp B .
(SANTOS, A , 2018)

Observe nesta imagem um aumento da extensão da área com a presença de clusters (conjunto de poros aglomerados), permitindo ao operador uma melhor avaliação da imagem. Uma vez que o filtro Sharp B possui a característica de melhorar a resolução em contraste das imagens e realçar as bordas e contornos da imagem. Comparando agora as imagens tratadas com a obtida através da radiografia convencional pode-se afirmar que a radioscopia é capaz de gerar não apenas uma imagem similar como uma imagem de qualidade superior a da radiografia dado a melhora na definição obtidos. Como base no parâmetro mínimo definido pela ABNT NBR 15739 de visualização de no mínimo o FIO 13 a radioscopia utilizando parte de seus recursos permitiu a geração de uma imagem com a visualização do FIO 14 o que denota um aumento de resolução espacial e resolução em contraste já mencionados anteriormente.

4.4 Operacionalização da técnica no laboratório de controle de qualidade

Uma vez definido o método de ensaio é preciso agora avaliar como tornar operacional e comparar as duas técnicas também neste quesito. Esses aspectos também

são relevantes quando olhamos o aspecto da aplicação industrial e do atendimento a requisitos normativos

O texto da ABNT NBR 8460:2011 diz que nos casos em que for utilizada a inspeção dos cordões de solda deve ser realizado no início da produção, ou quando houver intervalos superiores a 4 horas entre uma parada e o reinício do processo produtivo. Dessa forma a depender do número de máquinas de solda a serem validadas tem se um número muito reduzido de tempo para a avaliação de todo o processo de soldagem.

Admitindo como base para a análise, uma fábrica que realize o seu processo utilizando 10 máquinas de soldagem e tendo como pressuposto que até a liberação dos laudos pelo laboratório o material não avança até a etapa seguinte, realizar a inspeção no menor tempo possível se torna bastante atrativo do ponto de vista de qualidade e de risco associado a produção de material não conforme. Quanto maior o tempo até que o setor de END seja capaz de liberar as peças, maior é tempo em que a produção continuará fazendo materiais sem que se tenha a confiabilidade aumentando o risco.

Para cumprir integralmente o fluxo apresentado no item 3.7 o operador leva aproximadamente 15-20 min levando em conta a realização das 10 imagens, mas as etapas de processamento e lançamento das informações no laudo para um único recipiente. Vale ressaltar que no momento do start da produção quando a velocidade de inspeção requerida é muito superior esse tempo pode ser reduzido a 2 min, uma vez que as etapas de processamento podem ser realizadas posteriormente e o fato de a imagem original já fornecer as informações relevantes faz com que ele realize a varredura de todo o cordão de solda em pouquíssimo tempo.

Conforme mencionamos no item 4.1 para realizar apenas a geração da imagem de um trecho do recipiente o operador leva em média 45 min só para a aquisição das imagens, podemos até otimizar esse tempo considerando que ele não necessite preparar a todo momento os trechos a serem radiografados, tomando como base apenas o tempo de exposição de 150 segundos, admitindo 10 trechos por recipiente e 10 recipientes no total ,com isso o tempo total para inspecionar os 10 recipientes seria de 4,17 horas. Enquanto que na Radioscopia esse tempo não seria superior a 0,5 horas.

Um outro aspecto a ser quantificado é o consumo de materiais insumos que na radioscopia não são necessários e na radiografia necessita.

A radioscopia é mais vantajosa nesse requisito já que ocupa um tempo menor de HH e não gera custos com insumos para a realização dos ensaios

A tabela 11 mostra esse aspecto na diferenciação e o ganho da radioscopia também neste quesito.

Tabela 11 - Comparativo entre as técnicas, tempo de ensaio e custo com insumos básicos - (SANTOS, A , 2018)

Ensaio	Nº de amostras	Nº de Imagens por vasilhame	Tempo por amostra [s]*	Tempo total por amostra [min]	Tempo total Ensaio [horas]	Insumos por ensaio	Custo médio Unidade [R\$]***	Custo Total por Vasilhame
RADIOGRAFIA	10	10	1500	25	4,17	5**	R\$ 16,25	R\$ 81,25
RADIOSCOPIA	10	10	120	2	0,33	0	0	0

* Considerando apenas o tempo de exposição no caso da radiografia e para a radioscopia apenas o tempo de varredura (giro do vasilhame)

** Admitindo que são utilizados 5 filmes para cobrir todo o trecho do vasilhame isso pode variar de acordo com as dimensões do filme utilizado

*** Valor em Dólar de caixa com 100 unidades U\$ 500, taxa de conversão de 3,25 em 03.2018

Vale ressaltar que a qualificação desses profissionais atende os mesmos critérios conforme as normas vigentes de qualificação.

A ASME IX e a ABNT NBR 15739 não exigem apenas a qualificação SNQC aceitando profissionais qualificados pela ASNT-TC1A dessa forma é uma opção preparar e qualificar esses colaboradores dentro da própria empresa uma vez que a qualificação ASNT-TC1A é menos custosa que a SNQC e o custo da hora trabalhada desses profissionais também é menor.

Tanto para a radioscopia quanto para a radiografia são necessários um Inspetor N1 responsável pela a realização dos ensaios e um Inspetor N2 responsável pela liberação e emissão dos laudos técnicos.

Ainda sobre mão de obra no item 4.5 incluiremos informações sobre o serviço de proteção radiológica conforme definido pela CNEN.

Como estamos estudando a viabilidade de aplicação da técnica dentro da industria aspectos relativos a formação e qualificação como também custo estimado da mão de obra são consideráveis, neste ponto para ambas as técnicas o custo é equivalente uma vez que o processo de certificação é o mesmo.

Os demais ensaios são necessários e obrigatórios independente da técnica escolhida, a vantagem da radioscopia neste caso é que por demandar um tempo menor do operador este poderia está disponível e fornecer suporte para as demais atividades do setor.

4.5 Classificação das técnicas de acordo com as normas CNEN nos requisitos de proteção radiológica

Um outro aspecto determinante são os requisitos de proteção radiológica do equipamento, conforme já mencionado nos capítulos anteriores, atender os requisitos da CNEN é condição necessária, antes mesmo da aquisição do equipamento.

É preciso descrever como seria a instalação e submeter a avaliação e toda a proposta de trabalho que será desenvolvida.

Diante disso a característica do equipamento é fundamental para a definição da estrutura do serviço de proteção radiológica. A norma CNEN NN 6.02 (Licenciamento de Instalações Radiativas) classifica a atividade de radiografia industrial pelo nível de energia do feixe.

Para o caso avaliado neste trabalho ambas técnicas se enquadram no Grupo 7, subgrupo 7A que utiliza equipamentos com energia maior que 0,10 MeV e menor que 0,60MeV.

Neste trabalho ambos equipamentos possuem fontes com energia igual a 0,16MeV (160 keV). Os demais requisitos são comuns pela atividade com a exceção é que no caso do equipamento utilizado pela radiografia industrial não possuir auto blindagem, e for necessário a construção de um sistema de blindagem este projeto precisa ser submetido a aprovação junto a CNEN.

No caso da norma CNEN 6.04 já existe uma diferenciação entre as técnicas dependendo do tipo de blindagem utilizada.

Para a radioscopia Industrial, o equipamento que foi utilizado neste trabalho é autoblindado com projeto de segurança e recursos integrados pode ser classificado como tipo I que determina o quadro de funcionários mínimos do serviço de radioproteção.

Comumente o uso de radiografia é realizado em ambientes projetados e/ou com projeto de construção adaptados e com necessidade de aprovação prévia junto a CNEN a esse aspecto são classificados como operação do tipo II

A tabela 12 adaptada da norma CNEN NN 6.04 anexo I mostra a diferenciação entre os dois tipos quanto ao requisito mínimo de capacidade operacional para o serviço de proteção radiológica

Tabela 12 - Requisitos de Capacidade Operacional , Adaptado de (CNEN NN 6.04
anexo I)

TIPO DE INSTALAÇÃO DE OPERAÇÃO	REQUISITOS MÍNIMOS PARA A INSTALAÇÃO DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL		
	IOE	EQUIPAMENTOS DE ROTINA	EQUIPAMENTOS DE EMERGÊNCIA
I	1 (um) SPR sem exclusividade (limitado a quatro Instalações de Radiografia Industrial) e 1 (um) Operador (I ou II) por turno por Instalação de Radiografia Industrial	1 medidor de radiação e 1 monitor individual de leitura direta com alarme sonoro (BIP), com opcional de integrador de dose, por equipamento de raios-X	N.A.
	1 (um) IOE por equipamento de instalação de operação		
II	2 (dois) SPR, sendo um exclusivo da instalação, por Instalação de Radiografia Industrial	1 medidor de radiação por fonte de radiação e 1 monitor individual de leitura direta com alarme sonoro (BIP), com opcional de integrador de dose, por IOE	1 medidor de radiação (100mSv/h) por Unidade Federativa e materiais e equipamentos de emergência, conforme inciso VI do art. 58
	2 (dois) Operadores (I ou II) por instalação de operação		

Dependendo do tipo de equipamento a ser utilizado pode haver um impacto no quadro mínimo de pessoal para atuação no serviço, vale lembrar que desde o início do comissionamento este time já deverá estar disponível o que pode gerar alguma dificuldade e onerar o custo inicial do projeto.

A radioscopia da forma como foi apresentada neste projeto é vantajosa também neste aspecto pois atende os requisitos da CNEN com o quadro mínimo para a operação do TIPO I.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

O objetivo principal desta dissertação era avaliar se a radioscopia poderia ser viável para a aplicação no processo de inspeção de recipientes transportáveis de gás LP. Como abordagem central a comparação entre as imagens obtidas da área de interesse tanto com a radioscopia e a radiografia convencional.

Com base nas imagens obtidas pelas duas técnicas podemos dizer que são equivalentes tendo como base o requisito de qualidade da imagem solicitado pelas normas de projeto. Neste caso ambas as técnicas conseguem gerar imagens com o nível de resolução que permita a visualização do fio 13.

A Radioscopia ainda apresenta vantagens pois fornece recursos de melhora nessa imagem que a tornam ainda mais eficiente com do que a radiografia convencional.

Para o estudo em questão que era a inspeção de peças em série num processo contínuo de produção, a radioscopia confirma a característica defendida por outros autores em trabalhos anteriores que a radioscopia desponta em cenários em que a velocidade de inspeção é um diferencial e a necessidade de realização de vários ensaios em tempos curtos é real.

Neste aspecto a técnica é eficaz reduzindo inclusive o custo com insumos e componentes acessórios que se façam necessários na radiografia convencional.

O custo inicial associado ao projeto é diluído ao longo do tempo devido aos inúmeros benefícios operacionais e diminuição do quadro de funcionários mínimo para a operação e implantação de uma instalação radiativa.

O custo com insumos e com mão de obra ao longo prazo poder ser oneroso para uma indústria que já possui um custo elevado de produção, ações que permitam a mitigação desses recursos se reverte a uma economia de médio a longo prazo gerando o retorno no investimento realizado.

Os aspectos ligados a proteção radiológica são igualmente importantes uma vez que a definição de uma técnica não pode estar ligada apenas a sua detectabilidade, todo o processo de instalação deve estar sendo avaliado, no caso que foi proposto por esse trabalho a escolha da radioscopia na configuração apresentada foi decisiva para a escolha, devido a classificação e disponibilidade de recursos e mão de obra de acordo com as normas da CNEN.

Os níveis de radiação abaixo do limite de público (o equipamento possui níveis de radiação menores que 1 $\mu\text{Sv/h}$ a 10 cm de distancia) fazem com que o equipamento seja seguro não oferecendo riscos de a exposição aos operadores.

Por conta disso foi dedicado algumas páginas a explicação de conceitos de proteção radiológica.

Para uma instalação é importante realizar o serviço de forma eficaz e segura em conformidade com as normas.

Dessa forma podemos concluir que a radioscopia é viável para aplicação que se propõe mostrando vantajosa em diversos aspectos e atendendo as expectativas da norma de fabricação ABNT NBR 8460:2011 assim podendo ser inserida como opção a realização da inspeção por ensaios não destrutivos das soldas estruturais dos recipientes transportáveis de gás LP

Capítulo 6

TRABALHO FUTUROS

Não houve tempo hábil para realizar uma avaliação de todos os recursos da radioscopia disponíveis no equipamento fabricado pela GILARDONI.

Dessa forma de maneira a complementar o estudo iniciado seria interessante mensurar o quanto pode se evoluir no quesito qualidade da imagem e caracterizar adequadamente outros parâmetros importantes para as imagens radiográficas.

Sem dúvida explorar todos os filtros e ferramentas de inspeção agregaria valor a inspeção permitindo a utilização em outras peças

Avaliar outros defeitos também e em soldas provenientes de outros métodos de solda de fusão, como também aplicar a radioscopia em outras peças.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS^{ABNT}_{NBR}

7460, 2013 Bobinas e chapas finas de aço para fabricação de recipientes transportáveis para gás liquefeito de petróleo (GLP) — Especificação

ABNT NBR 8460: 2011 - Recipientes Transportáveis de Gás Liquefeito de Petróleo - Requisitos e Métodos de Ensaio

ABNT NBR 15739, 2012 - Ensaio não destrutivo - Radiografia de Juntas Soldadas- Detecção de descontinuidades.

ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX. 2017, Welding and Brazing Qualifications

ANDREUCCI, R, 2014 *Radiologia Industrial*, ABENDE - Associação Brasileira de Ensaio não Destrutivo, 96p.

BERTHEL, A. ,et al., "*Digital radiography: Description and User's Guide*"DIR 2007 - International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography, June 25-27, 2007, Lyon, France

BESERRA, Tatiana Fernandes. **Radioscopia aplicada à melhoria de processos industriais na produção de calçados** . Rio de Janeiro: PUC, 2012. 94 p. Tese (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2012.

BOSSI,R.H., IDINGS,F.A. ,WHEELER,G.C. ,MOORE,P.O., *Nondestructive Testing Handbook*. 3ªedição, Columbus, EUA, The American Society for Nondestructive Testing, 2002

CNEN NN 3.01, 2011 -Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica

CNEN NN 6.02, 2017 - Licenciamento de Instalações Radiativas

CNEN NN 6.04, 2013 - Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radiografia Industrial

GILARDONI. Manual Cabine de Radioscopia - 2011

GONÇALVES, Elicardo Alves de Souza. **Desenvolvimento de um sistema de radioscopia analógico/ digital** . Rio de Janeiro: COPPE, UFRJ, 2012. 91 p. Tese (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2010.

KIESEL, D. “ Radiography -Radioscopy ... a technology comparison". *PCNDT Asia Pacific Conference on NDT*. Nov. 2006.

NASCIMENTO, J. R., 2016, “**Radiografia Computadorizada Utilizando Alta Energia Para Inspeção de Material Fundido**”. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

OLIVEIRA, D. F., 2007, “**Análise da Radiografia Computadorizada em Condições de Águas Profunda**”. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PEREIRA, Paulo Salvador. **Desenvolvimento da aplicação da Radioscopia em ensaios não destrutivos**. Porto: FEUP, 2009. 55 p. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2009.

PORTARIA nº 418 de 05 de novembro de 2010, INMETRO

PURSCHE, M., “*Radioscopy - The Prevalent Inspection Technique of the Future!?*”, 15th World Conference of Non destructive Testing, Rome, Italy, 15-21 October 2000

QUEIROZ, J.R., Introdução ao Processamento de Imagens, Disponível em : <<http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg/disciplinas/graduacao/vc-2014.1/Rita-Tutorial-PDI.pdf>>

SCURI, A. E., 1999, “Fundamentos da Imagem Digital”. Notas de Aula, Tecgraf/PUC, Rio de Janeiro.

SNT-TC-1A, 2016 Edition, and ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel.

SPRAWLS, P., 1995, “Physical Principles of Medical Imaging, Madison, Wisconsin: Medical Physics”, 2 ed., Wisconsin, USA.

TAUHATA, L., SALATI, I. P. A., DI PRINZIO, R., DI PRINZIO, M. A. R. R. *Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos* - 10ª revisão abril/2014 - Rio de Janeiro - IRD/CNEN. 344p

WOJNAR, L, *Image Analysis - Applications in Materials Engineering*, 1999 - Press LEC;

<http://www.sindigas.org.br/novosite/?page_id=2968>, acessado em 12/03/2017

<<http://osexecutantes2.webnode.com.br/petroleo-e-gas/tudo-sobre-gas-glp/>> acessado em 12/03/2017

